

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2010 (29.12.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/149587 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G03H 1/22 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/058625
- (22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juni 2010 (18.06.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2009 027 100.7 23. Juni 2009 (23.06.2009) DE
10 2009 028 626.8
18. August 2009 (18.08.2009) DE
10 2010 028 398.3
29. April 2010 (29.04.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SeeReal Technologies S.A.** [LU/LU]; 6B, Parc d'Activités Syrdall, L-5365 Munsbach, Grand-Duchy of Luxembourg (LU).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KROLL, Bo** [DK/GB]; Ilchester Place 11, London, Greater London W148 AA (GB). **LEISTER, Norbert** [DE/DE]; Hermannstädter Str. 23, 01279 Dresden (DE). **FÜTTERER, Gerald** [DE/DE]; Augsburger Str. 79, 01277 Dresden

(DE). **MISSBACH, Robert** [DE/DE]; Am Teich 10, 01731 Kreischa / OT Bärenklause (DE). **REICHEL, Stephan** [DE/DE]; Iglauer Str. 12, 01279 Dresden (DE).

(74) Anwalt: **BRADL, Joachim**; SeeReal Technologies GmbH, Blasewitzer Str. 43, 01307 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LIGHT MODULATION DEVICE FOR A DISPLAY FOR REPRESENTING TWO- AND/OR THREE-DIMENSIONAL IMAGE CONTENT

(54) Bezeichnung : LICHTMODULATIONSVORRICHTUNG FÜR EIN DISPLAY ZUR DARSTELLUNG ZWEI- UND/ODER DREIDIMENSIONALER BILDINHALTE

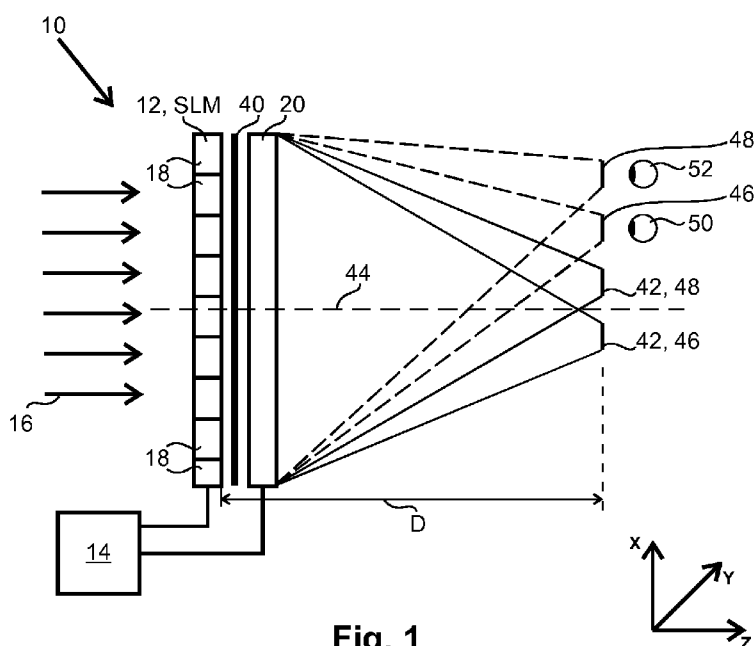


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a light modulation device (10) for a display for representing two- and/or three-dimensional image content or image sequences. The light modulation device (10) comprises a light modulator (12) and a controller (14). The phase and/or the amplitude of a light wave field (16), which is substantially collimated, can be varied by means of the light modulator (12) depending on the location of the light modulator (12). The light modulator (12) can be actuated by means of the control device (14). According to the invention, in the direction of propagation of the light wave field (16), at least one diffracting unit (20, 38) is arranged downstream of the light modulator (12). The diffracting unit (20, 38) has a variable diffracting structure (22). By means of the diffracting structure (22), the light wave field (16) varied by the light modulator (12) can be diffracted in a variable and predetermined manner. Further, the present invention relates to a display and a method for producing a light modulation device.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/149587 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft eine Lichtmodulationsvorrichtung (10) für ein Display zur Darstellung zwei- und/oder dreidimensionaler Bildinhalte oder Bildsequenzen. Die Lichtmodulationsvorrichtung (10) weist einen Lichtmodulator (12) und eine Steuereinrichtung (14) auf. Die Phase und/oder die Amplitude eines im Wesentlichen kollimierten Lichtwellenfelds (16) ist mit dem Lichtmodulator (12) in Abhängigkeit des Orts des Lichtmodulators (12) veränderbar. Der Lichtmodulator (12) ist mit der Steuereinrichtung (14) ansteuerbar. Erfindungsgemäß ist in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds (16) dem Lichtmodulator (12) mindestens eine Beugungseinrichtung (20, 38) nachgeordnet. Die Beugungseinrichtung (20, 38) weist eine veränderbare Beugungsstruktur (22) auf. Mit der Beugungsstruktur (22) ist das vom Lichtmodulator (12) veränderte Lichtwellenfeld (16) in vorgebarbarer Weise veränderbar beugbar. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Display und ein Verfahren zur Herstellung einer Lichtmodulationsvorrichtung.

Lichtmodulationsvorrichtung für ein Display zur Darstellung zwei- und/oder dreidimensionaler Bildinhalte

Die Erfindung betrifft eine Lichtmodulationsvorrichtung für ein Display zur Darstellung zwei- und/oder dreidimensionaler Bildinhalte oder Bildsequenzen. Die Lichtmodulationsvorrichtung weist einen Lichtmodulator und eine Steuereinrichtung auf. Die Phase und/oder die Amplitude eines im Wesentlichen kollimierten Lichtwellenfelds ist mit dem Lichtmodulator in Abhängigkeit vom Ort auf dem Lichtmodulator veränderbar. Der Lichtmodulator ist mit der Steuereinrichtung ansteuerbar. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Display und ein Verfahren zur Herstellung einer Lichtmodulationsvorrichtung.

Bekannt sind Holographische Displays die einen Lichtmodulator (Spatial Light Modulator, SLM) mit einer matrixförmigen Anordnung von Pixeln enthalten. Dabei kann es sich beispielsweise um Lichtmodulatoren handeln, welche die Phase oder die Amplitude oder die Phase und die Amplitude – d.h. komplexwertig – des mit dem SLM wechselwirkenden Lichts verändern oder modulieren können.

Lediglich beispielhaft wird auf ein Autostereo-Display (ASD) gemäß der WO 2005/060270 A1 hingewiesen, bei welchem die aktuelle Augenposition mindestens eines Betrachters detektiert und die stereoskopischen Bilder in die Richtung des linken und des rechten Auges des Betrachters in Abhängigkeit der aktuellen Augenposition abgelenkt werden. Dies wird mittels einer „Backplane-Schutter“-Einrichtung erzielt. Hinsichtlich eines holographischen Displays, wird beispielsweise auf die WO 2006/066919 A1 oder die WO 2006/027228 A1 hingewiesen. In einer Fourierebene eines solchen holographischen Displays entstehen höhere Beugungsordnungen. Der Abstand dieser Beugungsordnungen ist proportional zum Reziproken des Pixelpitchs des SLM des Displays, d.h. den Mitte-Mitte-Abstand der periodischen Lichtmodulator-Strukturen. Für holografische Displays mit einem Betrachterfenster (Viewing Window) muss eine Beugungsordnung mindestens die Größe dieses Betrachterfensters aufweisen. Der Pixelpitch des SLM ist also gemäß der gewünschten Größe des Betrachterfensters zu wählen. Da in der Regel das Betrachterfenster nur etwas größer als der Durchmesser einer Augenpupille sein muss, ergibt sich ein verhältnismäßig großer Pixelpitch des SLM. Ein typischer Wert wäre 30 μm bis 50 μm .

Eine holografische Rekonstruktion ist jedoch auch nur dann sichtbar, wenn der Betrachter ein Auge an dem Betrachterfenster positioniert. Entweder muss der Betrachter daher eine fixe Position einnehmen oder das Betrachterfenster muss der aktuellen Augenposition des Betrachters nachgeführt werden (Tracking). Hierzu werden eine Detektion der Augenposition und eine Anordnung zur Betrachternachführung benötigt. Bekannte Anordnungen zur Betrachternachführung, wie zum Beispiel das in der WO 2006/119920 A1 beschriebene Lichtquellentacking oder wie beispielsweise das in der WO 2008/142108 A1 beschriebene Electrowetting-Tracking, sind in konstruktiver Hinsicht aufwendig.

Bekannt ist auch eine Feldlinsenfunktion zu realisieren, die entweder separat vorhanden oder in die Tracking-Anordnung integriert ist. Durch diese Feldlinsenfunktion wird Licht von verschiedenen Positionen des Displays auf eine bestimmte Position in einer Betrachterebene fokussiert. Z-tracking, d.h. die Nachführung des Betrachterfensters in axialer Richtung des Displays (beim Hinbewegen der

Betrachteraugen zum Display bzw. beim Wegbewegen der Betrachteraugen vom Display weg), erfordert zum Beispiel eine variable Feldlinsenfunktion.

Bekannt ist andererseits die Möglichkeit eines Software- oder Codierungstrackings, wie beispielsweise in der WO 2006/066906 A1 beschrieben. Bei diesem werden lineare Phasenverläufe in den SLM Pixeln codiert, gegebenenfalls zusätzlich zu einem Hologramm. Der Winkelbereich, innerhalb dessen ein Codierungstracking sinnvoll genutzt werden kann, ist aber ebenfalls durch den Pitch des SLM beschränkt. Im Prinzip kann zwar bei einem Codierungstracking der Trackingbereich mehrere Beugungsordnungen betragen, wobei jedoch die Intensität des nachgeführten Betrachterfensters gemäß der Intensität in den höheren Beugungsordnungen abnehmen würde. Sinnvoll als Bereich für die Betrachternachführung wären daher in der Regel eine oder im Höchstfall zwei bis drei Beugungsordnungen.

Prinzipiell wäre es auch möglich, einen SLM mit einem kleineren Pixelpitch zu verwenden. Ein sinnvoller Bewegungsbereich eines Betrachters vor einem holografischen Display umfasst aber einen Winkel von einigen Grad. Zu diesem Zweck würde ein Pitch im Bereich weniger Mikrometer benötigt werden. Ein 24 Zoll Display mit einem Pitch von beispielsweise 2 μm hätte zum Beispiel ungefähr 40 Milliarden Pixel zur Folge, was bezüglich Herstellung, der Ansteuerung und der Computerberechnung der Hologrammdaten in Echtzeit nicht machbar wäre.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Lichtmodulationsvorrichtung, ein Display und ein Verfahren zur Herstellung einer Lichtmodulationsvorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben und weiterzubilden, durch welche die vorgenannten Probleme überwunden werden. Insbesondere soll eine einfach zu realisierende Nachführung der Betrachterfenster des holografischen Displays oder eine Nachführung des Sweet Spots eines autostereoskopischen Displays oder eine Strahlablenkung für Multi-View-Displays angegeben werden.

Bezüglich der Lichtmodulationsvorrichtung wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch die Lehre des Patentanspruchs 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Erfindungsgemäß ist eine Lichtmodulationsvorrichtung der eingangs genannten Art dadurch gekennzeichnet, dass in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds dem Lichtmodulator mindestens eine Beugungseinrichtung nachgeordnet ist. Die Beugungseinrichtung weist eine veränderbare Beugungsstruktur auf. Mit der Beugungsstruktur ist das vom Lichtmodulator veränderte Lichtwellenfeld in vorgebar Weise veränderbar beugbar.

Erfindungsgemäß ist zunächst erkannt worden, dass eine Nachführung mindestens eines Betrachterfensters insbesondere dadurch realisiert werden kann, dass in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds dem Lichtmodulator eine Beugungseinrichtung nachgeordnet ist, welche eine veränderbare Beugungsstruktur aufweist. Dies kann dazu genutzt werden, dass in Abhängigkeit der aktuellen Augenposition eines Betrachters die Beugungsstruktur der Beugungseinrichtung derart verändert wird, dass die Beugungseinrichtung vorgebbare höhere Beugungsordnungen des vom Lichtmodulator beeinflussten Lichtwellenfelds erzeugt oder die Lichtstrahlen in Richtung der aktuellen Augenposition eines Betrachters

mittels Beugung entsprechend ablenkt. In den einzelnen Beugungsordnungen entstehen periodische Wiederholungen des vom Lichtmodulator beeinflussten Lichtwellenfelds. Die Beugungsstruktur der Beugungseinrichtung ist derart einzustellen bzw. mit einer Steuereinrichtung anzusteuern, dass auch an der aktuellen Augenposition eines Betrachters des Displays eine Wiederholung des vom Lichtmodulator beeinflussten Lichtwellenfelds bzw. des Betrachterfensters entsteht. Hierdurch kann der Betrachter die in den Lichtmodulator eingeschriebenen Informationen nach den der WO 2006/066919 A1 beschriebenen Prinzipien visuell wahrnehmen.

Grundsätzlich könnte die Beugungsstruktur der Beugungseinrichtung eine beliebige periodische Struktur aufweisen. Hier ist insbesondere eine zweidimensionale Gitterstruktur denkbar. Bevorzugt wird als Beugungsstruktur der Beugungseinrichtung eine eindimensionale Gitterstruktur oder eine Sägezahnstruktur. So könnte eine im Wesentlichen vertikal verlaufende eindimensionale lineare Gitterstruktur in der Beugungseinrichtung realisiert werden, um eine in horizontaler Richtung gebeugte periodische Wiederholung bzw. Beugungsordnungen zu erzeugen. Da die Beugungseinrichtung auch dazu geeignet ist, die Phase des Lichtwellenfelds zu verändern und hierbei einzelne Teile des Lichtwellenfelds lokal ablenken kann, könnte die Beugungseinrichtung auch als Phasendeflektor bezeichnet werden. Grundsätzlich könnte in der Beugungseinrichtung eine eindimensionale lineare Gitterstruktur realisiert werden, welche einen vorgebbaren Winkel relativ zur Horizontalen aufweist.

Die Beugungsstruktur der Beugungseinrichtung sollte eine Gitterperiode oder einen periodischen Abstand bzw. Verlauf aufweisen, welcher im Wesentlichen in der Größenordnung der Wellenlänge des verwendeten Lichts liegt. Insoweit kommen grundsätzlich Gitterperioden in Betracht, welche in einem Bereich liegen können, der sich von 200 nm bis hin zu 30 μm erstrecken kann. Insoweit ist die Wirkung der Beugungseinrichtung nicht ausschließlich die einer Beugung des die Beugungseinrichtung durchlaufenden Lichts. Gerade wenn die Gitterperioden in einem Bereich von größer als beispielsweise 10 μm liegen, ist die Wirkungsweise der Beugungseinrichtung die eines Elements, welches die Phase des Lichts verändert. Dementsprechend ist im Folgenden die Beugungseinrichtung auch in diesem Zusammenhang zu verstehen.

Bevorzugt sind zwei Beugungseinrichtungen vorgesehen, von denen eine Beugungseinrichtung nur eine vertikale Ablenkung und die weitere Beugungseinrichtung nur eine horizontale Ablenkung realisiert. Diese beiden Beugungseinrichtungen werden in Analogie zu einem Phasen-SLM als pixelierte Elemente mit einer ansteuerbaren Phasenmodulation in vielen Stufen zwischen 0 und ungefähr 2π der verwendeten Wellenlänge des Lichts ausgestaltet, jedoch so, dass nur eine streifenförmige oder nur spaltenförmige Anordnung von Pixeln vorliegt.

In einer Dimension bzw. Richtung (horizontal oder vertikal) kann dabei eine sehr feine Strukturierung eingestellt werden, so dass ein kleiner Pixelpitch (bzw. eine kleine Gitterperiode) für einen großen Winkelbereich der Betrachternachführung realisiert werden kann. In der anderen Dimension (vertikal oder horizontal) liegen durchgängige Pixel im Wesentlichen über die gesamte Höhe oder Breite der Beugungseinrichtung (welche auch die Funktion eines Phasendeflektors bzw. eines Phased-Arrays realisieren kann) vor.

Der Pixelpitch in der fein strukturierten Richtung wird gemäß den verwendeten Wellenlängen der Beleuchtung und dem für diese Wellenlängen gewünschten Winkelbereich gewählt.

Für Displays, die beispielsweise nur eine horizontale Betrachternachführung benötigen, ist es möglich, auch nur eine Beugungseinrichtung zu verwenden. Außerdem ist allgemein auch die Kombination von Beugungseinrichtungen mit anderen Einrichtungen zur Betrachternachführung möglich, entweder um den Tracking-Winkel zu vergrößern oder um horizontale und/oder vertikale Ablenkung durch unterschiedliche Verfahren zu realisieren.

Die Begriffe horizontal und vertikal sind in diesem Zusammenhang insbesondere verallgemeinert so zu verstehen, dass es sich um zwei ungefähr senkrecht zueinander angeordnete Richtungen handelt. Prinzipiell könnte die gesamte Tracking-Anordnung auch gedreht sein, beispielsweise derart, dass eine Tracking-Richtung + 45 Grad diagonal und die andere Tracking-Richtung - 45 Grad diagonal beträgt.

Grundsätzlich können für Beugungseinrichtungen alle Funktionsprinzipien eingesetzt werden, die auch für Phasen-Lichtmodulatoren bekannt sind. In den Ausführungsbeispielen wird im Folgenden eine Beugungseinrichtung beschrieben, welche auf Phasenmodulation mittels Flüssigkristallen basiert.

Aufgrund der feinen Strukturierung nur in einer Dimension bzw. Richtung ist in vorteilhafter Weise die Herstellung und Ansteuerung der Beugungseinrichtung weit weniger komplex als das beispielsweise bei matrixförmig angeordneten Flüssigkeits-Zellen (einem Elektrowetting-Cell-Array) der Fall sein kann. So hätte zum Beispiel eine Beugungseinrichtung zum Realisieren einer Beugung in horizontaler Richtung für ein Display mit einer Bildschirmdiagonalen von 24 Zoll und einer minimalen Gitterstruktur / Gitterperiode von 2 μm nur 265000 Pixel; eine Beugungseinrichtung zum Realisieren einer Beugung in vertikaler Richtung nur 150000 Pixel. Die Anzahl der Pixel ist in diesem Fall kleiner als bei einem horizontal und vertikal pixelierten Lichtmodulator mit VGA Auflösung.

Ein binäres Gitter mit unveränderlicher Beugungsstruktur – beispielsweise ein Polarisationsgitter – weist eine weitgehend unveränderliche Gitterperiode auf und realisiert somit einen im Wesentlichen unveränderlichen Ablenkwinkel. Mit der variabel ansteuerbaren Beugungseinrichtung hingegen kann mit einer Vielzahl bzw. einer Reihe von in Form von Phasenstufen ausgebildeten Beugungsstrukturen, die in die Beugungseinrichtung einschreibbar sind, durch Variation der Quantisierung (also der Anzahl) der Phasenstufen und/oder der Steigung der linearen Phasenverläufe der Ablenk- bzw. Beugungswinkel des die Beugungseinrichtung durchlaufenden Lichts in sehr feinen Stufen / Schritten variabel eingestellt werden.

So könnte zunächst ein durchgängiger linear ansteigender oder abfallender Phasenverlauf berechnet werden, der einem bestimmten positiven oder negativen Ablenkwinkel entspricht. Dann werden die Phasenwerte für die Position jedes Pixels der Beugungsstruktur modulo 2π berechnet. Es wird die darstellbare Phasenstufe (Quantisierung) mit dem kleinsten Unterschied zu diesem berechneten Wert in das jeweilige Pixel der Beugungsstruktur eingeschrieben. Durch die Berechnung modulo 2π ist automatisch ein kontinuierlicher Phasenverlauf der Lichtwellenfront gewährleistet.

Die Berechnung der Phasenwerte für die Beugungseinrichtung kann auch in Analogie zu einem Blaze-Gitter betrachtet werden:

Aus der lateralen Sollposition des Betrachterfensters und seiner Entfernung zum Display werden Ablenkwinkel ermittelt, um Licht von einer Position auf dem Display bzw. Lichtmodulator hin zum Betrachterfenster abzulenken.

Es wird ein Blaze-Gitter berechnet dessen Gitterperiode dem gewünschten Ablenkwinkel entspricht, und zwar gemäß der allgemeinen Gittergleichung:

$$\sin \alpha \pm \sin \beta = m \lambda / g$$

Dabei ist α der Winkel des einfallenden Lichtes, β der Winkel des vom Gitter abgelenkten Lichtes. m ist die Beugungsordnung. Für ein Blaze-Gitter ist in der Regel $m=1$. λ ist die Wellenlänge des verwendeten Lichts und g die Gitterkonstante des Blaze-Gitters. Das Pluszeichen auf der linken Seite der Gleichung ist dann anzuwenden, wenn der einfallende Lichtstrahl und der gebeugte Lichtstrahl auf derselben Seite des Einfallslotes liegen. Das Umgekehrte trifft für das Minuszeichen zu.

Dieses Blaze-Gitter wird abgetastet, wobei die Abtastpunkte im Abstand des Pixelpitchs der Beugungseinrichtung liegen und die resultierenden Abtastwerte werden in die Beugungseinrichtung eingeschrieben. Gemäß des Abtasttheorems kann das Blaze-Gitter korrekt abgetastet werden, wenn die Gitterperiode g mindestens dem zweifachen Pixelpitch der Beugungseinrichtung entspricht.

$$g \geq 2 p$$

p bezeichnet hierbei den Pixelpitch der Beugungseinrichtung.

Ist diese Bedingung eingehalten, so können im Prinzip beliebige Gitterperioden des Blaze-Gitters realisiert werden. Daher sind auch fein abgestuft einstellbare Ablenkwinkel möglich (also kleine Tracking-Schritte), bis zu einem maximalen Winkel, der dem Blaze-Gitter mit einer Gitterperiode die dem Zweifachen des Pixelpitchs der Beugungseinrichtung entspricht.

Ein ideales Blaze-Gitter lenkt alles Licht in seine 1. Ordnung. Höhere Ordnungen würden daher idealerweise nicht durch das Blaze-Gitter selbst, sondern nur durch dessen Abtastung mit dem Pixelpitch der Beugungseinrichtung entstehen. Durch ein nichtideales Verhalten können allerdings auch weitere Blaze-Ordnungen entstehen, siehe beispielsweise die folgenden Ausführungen zur Temperaturkompensation.

Prinzipiell können höhere Ordnungen der Beugungseinrichtung genutzt werden, um den Trackingbereich zu vergrößern. Dies ist insbesondere für ein Einzelbetrachtersystem möglich. Eine höhere Ordnung der Beugungseinrichtung entspräche der Nutzung von Gitterperioden des Blaze-Gitters, die kleiner sind als das Zweifache des Pixelpitchs der Beugungseinrichtung. Trotz der Verletzung des Abtasttheorems wird ein Teil des Lichtes in einer höheren Ordnung der Beugungseinrichtung an die gewünschte Position gelenkt. Zusätzlich entsteht dann aber eine in der Regel hellere Wiederholung des Betrachterfensters auch in der 0. Ordnung der Beugungseinrichtung. Für hinreichend kleinen Pitch der Beugungseinrichtung

liegen diese Ordnungen weiter auseinander als der Augenabstand und würden einen einzelnen Betrachter nicht stören.

Umgekehrt können höhere Ordnungen der Beugungseinrichtung mit verschiedenen Verfahren reduziert oder unterdrückt werden, insbesondere in Anwendungsfällen, in denen sie störend sind. Hierbei ist beispielweise auch der Einsatz von Verfahren wie Pixelapodisation denkbar, wie z.B. in der zum Anmeldezeitpunkt dieser Anmeldung noch nicht veröffentlichten DE 10 2008 002 692.1 oder PCT/EP2009/050476 beschrieben.

Die Unterdrückung höherer Ordnungen ist insbesondere für ein Mehrbetrachtersystem nötig, wenn höhere Ordnungen, die beim Tracken eines einzelnen Betrachters entstehen, einen weiteren Betrachter stören würden.

Vorzugsweise wird ein Lichtmodulator mit zwei getrennten Beugungseinrichtungen kombiniert. In den Lichtmodulator wird ein Hologramm codiert, wobei der Lichtmodulator einen relativ groben Pixelpitch (z.B. $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$) und eine horizontale/vertikale Matrix von Pixel aufweist. Die eine Beugungseinrichtung ist für eine horizontale und die andere Beugungseinrichtung ist für eine vertikale Betrachternachführung vorgesehen. Jede der beiden Beugungseinrichtungen weist einen feinen Pitch auf (z.B. $1\ \mu\text{m}$), ist aber jeweils nur in einer Dimension strukturiert. Der Bewegungsbereich des Betrachters wird dann in etwa so groß, wie man ihn bei einem wesentlich aufwendigeren System mit einem einzelnen Lichtmodulator mit einem Pixelpitch von beispielsweise $1\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ und 160 Milliarden Pixeln und mit Codierungstracking konzipieren würde.

Weiterhin könnte eine Feldlinsenfunktion durch Berücksichtigung entsprechender Phasenterme und gegebenenfalls Prismenterme zumindest teilweise in der Beugungseinrichtung variierbar angesteuert werden. Die Feldlinsenfunktion entspricht einem lokal in verschiedenen lateralen Positionen auf dem Display bzw. dem Lichtmodulator unterschiedlichen Ablenkwinkel. Mit anderen Worten würde hier keine periodische Struktur in die Beugungseinrichtung eingeschrieben werden, welche über die gesamte wirksame Fläche der Beugungseinrichtung eine im Wesentlichen konstante Gitterperiode aufweist. Hierbei ist vielmehr vorgesehen, über die gesamte wirksame Fläche der Beugungseinrichtung eine Gitterstruktur bzw. eine Beugungsstruktur einzuschreiben, welche über die gesamte wirksame Fläche der Beugungseinrichtung eine veränderliche Gitterperiode bzw. Beugungsstruktur aufweist, so dass hiermit eine Feldlinsenfunktion realisierbar ist. Der Pixelpitch der Beugungseinrichtung muss dann aber so klein gewählt sein, dass auch der maximal nötige Ablenkwinkel vom gegenüberliegenden Lichtmodulator- bzw. Displayrand zum Betrachter noch innerhalb der genutzten Beugungsordnung liegt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist das Display zusätzlich eine in ihrer optischen Eigenschaft nicht veränderbare Feldlinse auf. Diese Feldlinse fokussiert auf einen mittleren Betrachterabstand und eine mittlere laterale Betrachterposition. Diese kann wahlweise refraktiv oder diffraktiv, letzteres zum Beispiel durch ein entsprechend dimensioniertes und angeordnetes Bragg Gitter realisiert werden. In letzterem Fall ist die Beugungseinrichtung im Strahlengang bevorzugt nach dem Bragg Gitter angeordnet, da dieses einen festen Einfallswinkel benötigt. Im ersten Fall kann die refraktive Linse wahlweise vor oder nach der Beugungseinrichtung angeordnet sein.

Eine Nachführung eines Betrachterfensters in Richtung entlang der optischen Achse bzw. in einer Richtung senkrecht zur Oberfläche des Lichtmodulators (Z-Tracking) könnte durch das Einschreiben von Zusatzlinsen repräsentierende Phasenterme in den Lichtmodulator und/oder in die mindestens eine Beugungseinrichtung erfolgen. Eine Kompensation von Aberrationen einer im Display vorgesehenen Feldlinse könnte dann in der mindestens einen Beugungseinrichtung und im Lichtmodulator durch Kodierung erfolgen. In diesen Fall reicht für einen bestimmten Trackingwinkelbereich ein größerer Pixelpitch der Beugungseinrichtung aus, als bei Integration der gesamten Feldlinsenfunktion in der Beugungseinrichtung und dem Lichtmodulator benötigt würde.

Zu beachten ist in beiden Fällen, dass im Gegensatz zu einer reinen Ablenkung (Prismenterme) eine sphärische Linsenfunktion (beispielsweise die Phasenterme für die gesamte Feldlinse oder für die Zusatzlinse zum Z-Tracking) oder eine Aberrationskorrektur gegebenenfalls nicht vollständig in voneinander unabhängige horizontale und vertikale Phasenverläufe zerlegt werden kann. Bei der Linsenfunktion entspräche das anschaulich dem Unterschied zwischen einer einzelnen sphärischen Linse und zwei gekreuzten Zylinderlinsen. Die Phasenverläufe der Zylinderlinsen und der sphärischen Linse würden nur in der paraxialen Näherung das heißt für eine kleine Apertur der Linsen übereinstimmen. Für größere Linsen unterscheiden sie sich. Das soll heißen, dass der benötigte horizontale Phasenverlauf auf dem Display, um Licht zu einer bestimmten Betrachterposition abzulenken, beispielsweise am oberen Rand des Displays anders sein kann als in der Mitte oder unten und dass der benötigte vertikale Phasenverlauf zum Beispiel links auf dem Display anders sein kann als in der Mitte oder rechts. Andererseits wäre unter Umständen nicht der gesamte Phasenverlauf mit dem SLM allein darstellbar weil der sinnvoll codierbare lokale Gradient des Phasenverlaufes zum Reziproken des Pixelpitch proportional ist und der SLM in der Regel einen vergleichsweise großen Pixelpitch aufweist.

Der Phasenverlauf $\varphi(x,y)$ der die Linsenfunktion oder Aberrationskorrektur wiedergibt wird dann vorteilhaft in der folgenden Weise zerlegt:

$$\varphi(x,y) = \varphi_1(x) + \varphi_2(y) + \varphi_3(x,y)$$

wobei $\varphi_1(x)$ eine Phasenfunktion ist die nur von der horizontalen Koordinate abhängt, $\varphi_2(y)$ eine Phasenfunktion die nur von der vertikalen Koordinate abhängt. Diese Anteile $\varphi_1(x)$ und $\varphi_2(y)$ werden in der Beugungseinrichtung für horizontale bzw. vertikale Beugung und der kleinere Anteil $\varphi_3(x,y)$ im Lichtmodulator kompensiert bzw. codiert.

In einer bevorzugten Gesamtausgestaltung eines holografischen Displays weist dieses eine Beleuchtungseinrichtung auf, welche einen Lichtwellenleiter aufweist, aus welchem das in dem Lichtwellenleiter verlaufende Licht mittels eines hieran befindlichen Volumengitters evaneszent ausgekoppelt wird. Eine solche Beleuchtungseinrichtung ist beispielsweise in der DE 10 2009 028 984.4 oder der PCT/EP2010/058619 beschrieben. Hierdurch wird ein im Wesentlichen kollimiertes Lichtwellenfeld mit einem vorgebbaren Polarisationszustand erzeugt. Eine solche Beleuchtungseinrichtung kann in vorteilhafter Weise sehr flach ausgebildet werden. Die Beleuchtungseinrichtung ist hierbei derart ausgebildet und angeordnet, dass das kollimierte Lichtwellenfeld sich in Richtung des Lichtmodulators ausbreitet. Der Lichtmodulator könnte derart

ausgebildet sein, dass er das Licht des Lichtwellenfelds in transmissiver oder in reflektiver Weise moduliert. Weiterhin ist in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds dem Lichtmodulator ein Bauteil nachgeordnet, welches eine Feldlinsenfunktion realisiert, beispielsweise ein Bragg-Gitter.

5 Besonders bevorzugt ist die Beleuchtungseinrichtung zwischen dem Lichtmodulator und der Beugungseinrichtung angeordnet. Diese Beleuchtungseinrichtung kann in diesem Fall als Frontlight bezeichnet werden. Falls ein Bauteil vorgesehen ist, welches eine Feldlinsenfunktion realisiert, ist die Beleuchtungseinrichtung zwischen dem Lichtmodulator und dem die Feldlinsenfunktion realisierenden Bauteil angeordnet. Der Lichtmodulator ist in dieser Ausführungsform als reflektiv arbeitender Lichtmodulator ausgebildet, der die Phase des mit ihm wechselwirkenden Lichts beeinflussen kann.

10 Zwischen der Beleuchtungseinrichtung und dem Lichtmodulator ist eine $\lambda/4$ -Platte oder ein vergleichbares optisches Bauteil angeordnet, so dass der Polarisationszustand des aus der Beleuchtungseinrichtung ausgekoppelten Lichts einmal beim Propagieren in Richtung des Lichtmodulators um 45 Grad gedreht wird und nach der Reflexion am Lichtmodulator und erneutem Durchgang durch die $\lambda/4$ -Platte bzw. durch das optische Bauteil um weitere 45 Grad gedreht wird.

15 Dementsprechend ist das in Richtung der Beleuchtungseinrichtung propagierende Licht gegenüber dem aus der Beleuchtungseinrichtung ausgekoppelten Licht um insgesamt 90 Grad gedreht, so dass das am Lichtmodulator reflektierte Licht die Beleuchtungseinrichtung – und insbesondere deren Volumengitter – im Wesentlichen ungestört durchlaufen kann. Der Beleuchtungseinrichtung bzw. dem die Feldlinsenfunktion realisierenden Bauteil ist die erste Beugungseinrichtung nachgeordnet, welche eine

20 Beugung des Lichts in eine horizontale oder vertikale Richtung realisiert. Der ersten Beugungseinrichtung ist die zweite Beugungseinrichtung nachgeordnet, welche eine Beugung des Lichts in eine vertikale oder horizontale Richtung realisiert.

Natürlich kann auch eine in Form eines Backlights ausgebildete Beleuchtungseinrichtung dazu verwendet werden, das im Wesentlichen kollimierte Lichtwellenfeld bereitzustellen. Dem Backlight sind dann in

25 Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds ein transmissiv arbeitender Lichtmodulator und die zwei Beugungseinrichtungen nachgeordnet. Ein die Feldlinsenfunktion realisierendes Bauteil könnte zwischen der Beleuchtungseinrichtung und dem Lichtmodulator oder zwischen dem Lichtmodulator und einer Beugungseinrichtung angeordnet sein. Prinzipiell kann eine Beugungseinrichtung auch in einem Autostereo-Display oder in einem herkömmlichen 2D-Display eingesetzt werden, bei welchem der

30 dargestellte Bildinhalt aus Sicherheitsgründen nur in Richtung der Betrachteraugen abzulenken bzw. zu fokussieren ist. Voraussetzung hierfür ist, dass dieses Display eine kohärente bzw. teilkohärente Beleuchtung aufweist.

Eventuell kann es erforderlich sein, dass Temperaturschwankungen bei der Beugungseinrichtung zu korrigieren sind. Displays weisen aufgrund der Wärmeentwicklung in der Elektronik und der

35 Beleuchtungseinrichtung häufig von der Mitte zum Rand hin einen Temperaturgradienten auf. Mit der Temperatur nimmt beispielsweise die Doppelbrechung des LC Materials ab (LC = Liquid Crystals = Flüssigkristalle). Außerdem ändern sich auch die elastischen Konstanten des LC Materials, was Einfluss auf die Orientierung des LC Materials unter einer vorgegebenen Spannung hat. Hierdurch kann eine

Temperaturänderung die Phasenmodulation bzw. das Beugungsverhalten der Beugungseinrichtung beeinflussen.

Während man bei einem horizontal und vertikal pixelierten Lichtmodulator prinzipiell die Möglichkeit hätte, durch unterschiedliche Ansteuerung der einzelnen Pixel diesen Temperaturgradienten auszugleichen, ist das bei einem spalten- oder zeilenförmig aufgebauten Modulator bzw. bei einer spalten- oder zeilenförmig aufgebauten Beugungseinrichtung nicht der Fall. Es besteht also tendenziell die Gefahr, dass beispielsweise bei einer angesteuerten, vertikal ausgerichteten Spalte die Mitte der Spalte eine andere Phasenmodulation bewirkt, als das obere oder untere Ende der Spalte. Dieser Effekt ist nicht erwünscht.

Eine zu kleine Doppelbrechung des LC Materials hätte beispielsweise zur Folge, dass sich die tatsächliche Phase proportional zur Sollphase verringert. Dies wäre unter anderem äquivalent zu einem Blaze-Gitter falscher Höhe, so dass die 2π Sprünge nicht mehr stimmen. Dadurch würden höhere Blaze-Ordnungen erzeugt.

Entsteht durch einen Temperaturgradienten ein falscher Ablenkwinkel, so kann dies innerhalb einer Beugungsordnung des Lichtmodulators durch einen zusätzlichen linearen Phasenverlauf im Lichtmodulator kompensiert werden. Bevorzugt wird aber eine Einrichtung, die das Auftreten eines Temperaturgradienten vermeidet, indem die Beugungseinrichtung bzw. das gesamte Display aktiv temperaturgeregelt werden. Insoweit könnte also eine Temperaturkorrektur durch eine entsprechende Codierung im Lichtmodulator und/oder durch eine Regelung der Temperatur der Beugungseinrichtung (beispielsweise mittels Peltier-Effekts) erfolgen.

Bei Verwendung einer Feldlinse, die im Strahlengang vor der Beugungseinrichtung vom Licht durchlaufen wird, führt dies dazu, dass Licht schräg in die Beugungseinrichtung eintreten kann, bzw. dass der Eintrittswinkel in die Beugungseinrichtung räumlich variiert. Für eine Feldlinse mit konstanten optischen Eigenschaften ist andererseits dieser Einfallswinkel bekannt und zeitlich konstant. Dies kann für eine Kompensation genutzt werden.

Beruhet die Phasenmodulation in der Beugungseinrichtung auf einem doppelbrechenden Material, so ist zu beachten, dass sich für einen schrägen Durchgang die effektive Doppelbrechung ändert. Bei gleicher Dicke des Phasenmodulators bzw. der Beugungseinrichtung würde also ein schräg auftreffender Lichtstrahl eine andere Phasenmodulation erfahren als ein senkrecht auftreffender Lichtstrahl. Eine Änderung der Phasenmodulation durch Ansteuerung ist nur bedingt möglich. Bei einer zeilenförmig aufgebauten Beugungseinrichtung kann man beispielsweise eine Änderung des Einfallswinkels von links nach rechts nicht ohne weiteres über eine Ansteuerspannung kompensieren.

Möglich ist jedoch, eine vorgebbare und unveränderliche Dickenvariation in der phasenmodulierenden Schicht vorzusehen. So würde für eine zeilenförmig aufgebaute Beugungseinrichtung die Dicke der LC Schicht von der Mitte bis mindestens zum linken und rechten Rand leicht zunehmen oder abnehmen, typischerweise um 10 Prozent bei 20 Grad schrägem Einfall des Lichtes. Wenn zwei gekreuzte Beugungseinrichtungen nacheinander angeordnet werden, gibt es allerdings auch einen variablen schrägen Einfall des Lichtes von der ersten auf die zweite Beugungseinrichtung. In der Regel wird in

horizontaler Richtung ein größerer Trackingbereich benötigt als in vertikaler Richtung. Es ist also vorteilhaft, die Beugungseinrichtung für die vertikale Richtung im Strahlengang zuerst anzuordnen, da dann die Auftreffwinkel auf die nachfolgende Beugungseinrichtung für die horizontale Richtung kleiner sind als bei der umgekehrten Anordnung.

5 Zum schrägen Lichteinfall auf die Beugungseinrichtung wird folgendes ausgeführt: in Ablenkrichtung könnte der Auftreffwinkel auch durch die Ansteuerspannung der Beugungseinrichtung kompensiert werden. Bei einem solchen Lichteinfall kann es prinzipiell zu einem Übersprechen eines Lichtstrahls zu einem Nachbarpixel der Beugungseinrichtung kommen. Das Übersprechen kann verringert werden, indem die Schichtdicke des LC reduziert wird, beispielsweise durch Verwendung von Materialien mit
10 hoher Doppelbrechung. Bei bekanntem schrägem Winkel kann dies prinzipiell durch strukturierte Elektroden auf beiden Substraten und/oder eine versetzte Anordnung von Elektroden auf beiden Substraten der Beugungseinrichtung kompensiert werden.

Weiterhin könnte eine Kompensation eines schrägen Durchgangs durch die Beugungseinrichtung aufgrund des ggf. vorgesehenen Bauteils zur Realisierung der Feldlinsenfunktion dadurch erfolgen, dass
15 die Dicke der LC-Schicht der Beugungseinrichtung entsprechend angepasst ist oder dass beide Substrate der Beugungseinrichtung entsprechend versetzt angeordnete Elektroden aufweisen. Dies ist deshalb möglich, da das Bauteil, welches die Feldlinse realisiert, an jedem Ort des Bauteils eine vorgebbare und daher bekannte Winkelablenkung des das Bauteil durchlaufenden Lichts aufweist. Insoweit ist der Einfallswinkel für eine vorgebbare Position auf der Beugungseinrichtung bekannt.

20 Bezüglich der Ansteuerung der Beugungseinrichtung sei folgendes angemerkt: üblicherweise gibt es in einem TFT Display einen Transistor je Pixel, der auch im Pixel untergebracht ist. Bei einem kleinen Pixelpitch, wie er bei der Beugungseinrichtung in der Größenordnung von 2 μm vorgesehen sein kann, sind die Transistoren normalerweise breiter als die einzelnen Zeilen oder Spalten. Mit Hilfe einer versetzten Auffächerung an den Rändern des Displays können die Ansteuerschaltungen mit Hilfe von
25 TFT (Thin Film Transistor) auf dem Substrat untergebracht werden. Alternativ können auf das Substrat Schaltkreise in CoG-Technologie (Chip on Glass) aufgebracht werden, um die Elektroden anzusteuern.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Beugungseinrichtung derart ausgebildet, dass mit der Beugungseinrichtung eine vorgebbare gitterförmige Beugungsstruktur einstellbar bzw. einschreibbar ist, welche sich lediglich in eine Richtung erstreckt. Mit anderen Worten handelt es sich bei der in die
30 Beugungseinrichtung eingeschriebenen Beugungsstruktur um lediglich eine lineare Gitterstruktur. Diese Gitterstruktur kann binäre oder diskrete oder kontinuierliche Verläufe oder abschnittsweise Mischformen davon aufweisen.

Bevorzugt ist die Beugungseinrichtung derart ausgebildet, dass die mit der Beugungseinrichtung einstellbare Beugungsstruktur in der Periodizität veränderbar ist.

35 In konstruktiver Hinsicht könnte die Beugungseinrichtung im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden aufweisen, welche an einem ersten Substrat angeordnet sind. Die Elektroden könnten also streifenförmig ausgebildet sein. Das erste bzw. ein Substrat der Beugungseinrichtung könnte eine flächenförmige Elektrode aufweisen, welche von den im

Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden des Substrats isolierend getrennt ist. Die Beugungseinrichtung könnte ein zweites Substrat aufweisen, welches von dem ersten Substrat beabstandet angeordnet ist. Das zweite Substrat könnte eine flächenförmige Elektrode und/oder mehrere im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden aufweisen. Falls das zweite Substrat mehrere im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden aufweist, könnten diese Elektroden zu den linear ausgebildeten Elektroden des ersten Substrats im Wesentlichen gegenüberliegend oder mit einem vorgebbaren lateralen Versatz angeordnet sein. Die Ausrichtung der Elektroden beider Substrate wäre im Wesentlichen parallel.

Damit mit den Elektroden der Lichtmodulationsvorrichtung eine elektrische Feldverteilung realisiert werden kann, mit welcher beispielsweise im Wesentlichen ein Sägezahn-Verlauf – vergleichbar zu der Darstellung aus Figur 3 – mit einer nahezu senkrecht verlaufenden abfallenden Flanke erzeugt werden kann, ist in einer bevorzugten Ausführungsform zwischen zwei Substraten mindestens eine Zwischenelektrodenschicht vorgesehen. Die Zwischenelektrodenschicht weist Elektroden auf. Je nach konkreter Ausgestaltung der Zwischenelektrodenschicht könnten an mindestens einer Oberfläche der Zwischenelektrodenschicht Elektroden angeordnet sein. Besonders bevorzugt sind zwischen zwei Substraten vier Zwischenelektrodenschichten vorgesehen. Die mindestens eine Zwischenelektrodenschicht ist vorzugsweise parallel zu einer Oberfläche eines Substrats ausgerichtet. Sowohl die an den Substraten vorgesehenen Elektroden als auch die Elektroden der Zwischenelektrodenschicht sind individuell elektrisch ansteuerbar, um einen vorgegebenen elektrischen Potenzialverlauf möglichst genau an einen vorgegebenen bzw. gewünschten idealen Potenzialverlauf zwischen den zwei Substraten realisieren zu können.

Vergleichbar zu der Anordnung der auf dem mindestens einen Substrat angeordneten Elektroden sind vorzugsweise die Elektroden der Zwischenelektrodenschicht im Wesentlichen linear ausgebildet, im Wesentlichen parallel zueinander und in einer vorgebbaren Richtung ausgerichtet. Hierbei könnten die Elektroden der Zwischenelektrodenschicht eine Gitterperiode aufweisen, die im Wesentlichen der Gitterperiode der auf einem Substrat angeordneten Elektroden entspricht.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Abstand zwischen einem Substrat und einer benachbarten Zwischenelektrodenschicht und/oder zwischen zwei benachbarten Zwischenelektrodenschichten vorgebar. Dieser Abstand könnte einem Bruchteil des Abstands zweier benachbarter Elektroden oder einem Bruchteil der Gitterperiode der Elektroden des Substrats oder der Zwischenelektrodenschicht entsprechen. So könnten beispielsweise die Breite der Elektroden quer zur Längsrichtung der Elektroden $1\ \mu\text{m}$, der Abstand zwischen zwei benachbarten Elektroden $1\ \mu\text{m}$, der Abstand zwischen dem ersten Substrat und der hierzu benachbarten Zwischenelektrodenschicht $0,5\ \mu\text{m}$, der Abstand zwischen der Zwischenelektrodenschicht und der hierzu benachbarten Zwischenelektrodenschicht ebenfalls $0,5\ \mu\text{m}$ betragen. Insoweit ist in diesem Beispiel der Abstand zwischen einem Substrat und einer benachbarten Zwischenelektrodenschicht bzw. zwischen zwei benachbarten Zwischenelektrodenschichten kleiner als der Abstand zwischen zwei benachbarten Elektroden, er entspricht nämlich der Hälfte dieses Wertes und könnte noch kleiner sein.

Grundsätzlich könnten die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten und/oder zweiten Substrats und/oder einer Zwischenelektrodenschicht in einer vorgebbaren Richtung ausgerichtet sein. Weiterhin könnte die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten Substrats zu der Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des zweiten Substrats einen vorgebbaren Winkel aufweisen, welcher in einem Bereich zwischen 0 und 90 Grad liegt. Bevorzugt weist der Winkel einen Wert von im Wesentlichen 0 Grad auf. Es könnte allerdings auch zweckmäßig sein, dass dieser Winkel einen Wert von beispielsweise 10 Grad hat. Alternativ oder zusätzlich könnte die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden eines Substrats zu der Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden einer Zwischenelektrodenschicht einen vorgebbaren Winkel aufweisen, welcher in einem Bereich zwischen 0 und 90 Grad, vorzugsweise 0 Grad, liegt. Weitergehende Ausführungen hierzu sind an anderer Stelle gegeben.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind mehrere Elektroden eines Substrats oder einer Zwischenelektrodenschicht zu einem Segment zusammengefasst. Die zu einem Segment zusammengefassten Elektroden werden in mindestens einem Betriebszustand der Beugungseinrichtung gemeinsam angesteuert. Eine solche Ansteuerung könnte insbesondere eine im Wesentlichen zeitgleiche Abschaltung oder das Verbringen der Elektroden eines Segments auf ein vorgegbares elektrisches Potenzial umfassen. Gemäß dieser Ausführungsform können mehrere Segmente pro Substrat bzw. Zwischenelektrodenschicht vorgesehen sein. Eine solche Ausführungsform kann in besonders vorteilhafter Weise bei einer segmentweisen Beleuchtungseinrichtung (Scanning Backlight oder Scanning Frontlight) eingesetzt werden, bei welcher einzelne Segmente (streifenförmige Bereiche) zeitsequenziell ein- bzw. ausgeschaltet oder gescannt werden. Hier kann es erforderlich sein, zu dem Ein- bzw. Ausschaltvorgang der segmentweisen Beleuchtungseinrichtung auch ein dazu synchronisiertes "scanning off" der Beugungseinrichtung oder des Lichtmodulators vorzusehen. Die Elektroden 26 des ersten Substrats der Beugungseinrichtung sind beispielsweise in einem Winkel von 80 Grad zu den streifenförmigen Off-State Elektroden 72 (welche an dem zweiten Substrat angeordnet sein könnten) angeordnet können und dazu beispielsweise in 5 einzelne Gruppen angesteuert werden, wie dies in Fig. 19 schematisch gezeigt ist. Dort sind in einer vereinfachten Darstellung die Elektroden 26 des ersten Substrats (in Fig. 19 nicht gezeigt) in einem Winkel von 90 Grad zu den in Segmente 74 zusammengefassten Off-State Elektroden 72 des zweiten Substrats (in Fig. 19 nicht gezeigt) gezeigt. Mit den Zahlen 1 bis 20 und U_{PG} in Fig. 19 ist angedeutet, dass die Elektroden 26 jeweils mit einer unterschiedlichen vorgebbaren Spannung beaufschlagt werden können. Mit den Zahlen 1 bis 5 und U_{OFF} im unteren Bereich von Fig. 19 ist angedeutet, dass die Elektroden 72 eines Segments 74 jeweils mit derselben Spannung beaufschlagt werden können. Da das Scanning der Beleuchtungseinrichtung in der Regel zeitlich synchron zum Schreiben von Pixelinhalten in den Lichtmodulator erfolgt, ist eine Gruppierung der Off-State Elektroden 72 in Segmente vorteilhaft, die synchron zu den schreibenden Segmenten des Lichtmodulators angeordnet bzw. ansteuerbar sind. Dementsprechend könnte die resultierende Fläche der Off-State Elektroden 72 eines Segments derart ausgebildet bzw. geformt sein, dass sie im Wesentlichen überlappend zu der Fläche eines Segments der Beleuchtungseinrichtung angeordnet ist. Alternativ könnten die Off-State Elektroden 72 in Segmente entsprechend den nacheinander beschriebenen und nacheinander beleuchteten Lichtmodulator-Segmenten ausgebildet

und/oder gruppiert sein. Bei einem off-state-field-driven Lichtmodulator kann man die streifenförmigen Off-Elektroden auch parallel zur scanning-Richtung der Beleuchtung auslegen, was die F-Kamm-Struktur (d.h. die Off-State Elektroden 72 sind im Wesentlichen senkrecht zu den Elektroden 26 ausgerichtet) der Off-State Elektroden 72 vermeidet, welche z.B. in Fig. 19 gezeigt ist.

5 Zur Realisierung von großen Beträgen der Komponenten des elektrischen Feldes, welche parallel zu den Substratoberflächen verlaufen (im Englischen: in plane field) ist es beispielsweise vorteilhaft, einen Schichtaufbau wie folgt vorzusehen: erstes Substrat | eine flächige ITO-Elektrode | 100 nm Dielektrikum | streifenförmige und individuell ansteuerbare Elektroden 26 | 50 nm Dielektrikum | eine LC Schicht, beispielsweise mit einer 3 µm Dicke | 50 nm Dielektrikum | um 80 Grad zu den Elektroden 26 gedrehte
10 segmentiert ansteuerbare Off-State-Elektroden 74 | 100 nm Dielektrikum | flächige ITO-Elektrode | zweites Substrat bzw. Deckglas.

Hierbei könnten die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten und/oder zweiten Substrats und/oder einer Zwischenelektrodenschicht im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet sein. Hierzu wird bei der Herstellung der erfindungsgemäßen
15 Lichtmodulationsvorrichtung sichergestellt werden müssen, dass die in den unterschiedlichen Schichten bzw. an den Substraten angeordneten Elektroden jeweils zueinander parallel ausgerichtet sind.

Die Elektroden des ersten und/oder zweiten Substrats sind für das verwendete Licht transparent ausgebildet. Das erste und/oder das zweite Substrat ist für das verwendete Licht transparent ausgebildet. Vorzugsweise entspricht der Brechungsindex der Elektroden im Wesentlichen dem Brechungsindex des
20 Substrats. Mit anderen Worten werden das Elektrodenmaterial und das Substratmaterial derart ausgewählt bzw. sind derart ausgestaltet, dass diese im Wesentlichen denselben Brechungsindex aufweisen. Dies ist insbesondere für das Licht der verwendeten Wellenlängen vorgesehen.

Zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat und/oder zwischen einem Substrat und einer hierzu benachbarten Zwischenelektrodenschicht und/oder zwischen zwei benachbarten
25 Zwischenelektrodenschichten ist gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ein Material angeordnet, mit welchem lokale Änderungen des Brechungsindex für mindestens eine Polarisationsrichtung des Lichts durch Einstellen einer das Material beeinflussenden Steuergröße erzielbar ist. Bei der das Material beeinflussenden Steuergröße könnte es sich um elektrische Spannungen oder um elektrischen Strom handeln, wodurch die einzelnen Elemente des Materials sich in ihrer Ausrichtung und/oder in ihrer
30 optischen Eigenschaft entsprechend ändern. So könnte das Material Flüssigkristalle oder eine Polymerschicht – insbesondere eine Polyimidschicht – mit Flüssigkristallen oder mit länglich ausgebildeten Nano-Partikeln aufweisen. Insbesondere könnten die Nano-Partikel metallische Kohlenstoff-Nano-Röhrchen (Carbo Nano Tubes) oder Nano-Partikel aufweisen, welche eine permanente elektrische Dipolverteilung aufweisen. Es könnten auch Nano-Partikel verwendet werden, welche eine
35 beliebige Form aufweisen, welche für das verwendete Licht doppelbrechend ausgestaltet sind und welche sich durch beispielsweise ein elektrisches Feld in ihrer räumlichen Orientierung ausrichten lassen.

Falls die Lichtmodulationsvorrichtung mindestens eine Zwischenelektrodenschicht aufweist, könnte das Material eine relativ stabile und geeignet ausgebildete Polymerschicht mit Flüssigkristallen oder mit

länglich ausgebildeten Nano-Partikeln in Zwischenräumen der Polymerschicht aufweisen, auf welcher bei der Herstellung unmittelbar die Elektroden der Zwischenelektrodenschicht aufgebracht werden. Gegebenenfalls muss die Polymerschicht mit einer dünnen Schutzschicht beschichtet werden, bevor die Elektroden der Zwischenelektrodenschicht auf diese Schutzschicht aufgebracht werden können, um zu verhindern, dass das elektrisch leitende Material, welches die Elektroden der Zwischenelektrodenschicht bildet in die Polymerschicht eintritt. Alternativ könnte das Material eine flexible oder zähflüssige transparente Schicht mit darin eingemischten bzw. darin versehenen Nano-Partikeln aufweisen.

Die länglich ausgebildeten Nano-Partikel könnten beispielsweise in Form von metallischen Ellipsoiden realisiert sein, welche eine Größe aufweisen, die kleiner als $\lambda/2n$ ist. λ ist hierbei die Wellenlänge des verwendeten Lichts und n ist der Brechungsindex des Mediums bzw. des Materials, in welchem die metallischen Ellipsoide eingebettet sind. Insoweit würden die metallischen Ellipsoide und das Einbettungsmedium das oben genannte Material darstellen. Die metallischen Ellipsoide weisen einen elektrischen Dipol auf. Freie Elektronen des Dipols können im elektrischen Feld, welches vom einfallenden Licht induziert wird, in einer Belegungsrichtung senkrecht zur Hauptachse des Dipols nicht schwingen. In einer Bewegungsrichtung parallel zur Hauptachse des Dipols hingegen können die Elektronen eines metallischen Ellipsoids schwingen, wodurch eine Plasmonen-Resonanz begründet wird. Insoweit stellen im Wesentlichen parallel ausgerichtete metallische Ellipsoide eine Anisotropie dar. Bei geeigneter Konzentration der metallischen Nano-Partikel in dem umgebenden Medium kann eine Doppelbrechung durch die metallischen Ellipsoide und deren Einbettungsmedium realisiert werden, welche von der Ausrichtung der metallischen Ellipsoide abhängt. Eine vergleichbare Wirkungsweise liegt bei metallischen Carbo Nano Tubes vor, deren Geometrie über Prozessparameter bei der Herstellung einstellbar sind. Die Länge der metallischen Carbo Nano Tubes wird ebenfalls kleiner als $\lambda/2n$ gewählt. In vergleichbarer Weise könnten auch Metallmoleküle gleicher Größenordnung mit zwei sich in ihrer Länge deutlich unterscheidenden Hauptachsen verwendet werden.

Im Konkreten könnten zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat und/oder zwischen einem Substrat und einer hierzu benachbarten Zwischenelektrodenschicht und/oder zwischen zwei benachbarten Zwischenelektrodenschichten Flüssigkristalle angeordnet sein, welche in ihrer Ausrichtung dadurch beeinflussbar sind, dass an den Elektroden eine vorgebbare elektrische Spannung angelegt wird. Die Elektroden des ersten und/oder des zweiten Substrats weisen vorzugsweise jeweils Isolationsschichten auf, so dass die Flüssigkristalle nicht im elektrischen Kontakt mit den Elektroden stehen. Die Isolationsschicht ist ebenfalls derart auszuwählen, dass der Brechungsindex weitgehend an den der Elektroden und/oder an den des Substrats angepasst ist und dass die Isolationsschicht für das verwendete Licht transparent ist. Hierbei könnten mit der Isolationsschicht eventuell vorliegende Höhenunterschiede ausgeglichen werden, welche durch das Aufbringen des Elektrodenmaterials auf dem im Wesentlichen planaren Substrat verursacht werden. Letztendlich könnte die Isolationsschicht ebenfalls eine im Wesentlichen planare Oberfläche zu der Schicht der Flüssigkristalle bilden.

Für eine Beugungseinrichtung auf Basis von Flüssigkristallen kann diese beispielsweise ähnlich aufgebaut sein, wie ein ECB-SLM (ECB = Electrically Controlled Birefringence). Üblicherweise liegt dabei in Abwesenheit eines elektrischen Feldes eine Orientierung der Flüssigkristalle weitgehend parallel zum

Substrat durch Oberflächenkräfte vor. In dieser Ebene parallel zum Substrat wird bei der Herstellung (zum Beispiel durch mechanisches Reiben) eine Richtung vorgegeben. Hierzu könnte eine Schicht vorgesehen sein, mit welcher die Flüssigkristalle vororientiert werden können, beispielsweise durch das mechanische Einbringen (z.B. durch Bürsten) entsprechender Vertiefungen.

5 Bevorzugt erfolgt im Fall einer Beugungseinrichtung mit linienförmigen Elektroden die Ausrichtung der LC Moleküle an der Oberfläche eines Substrats parallel zur Längsrichtung der Elektroden, da dann schärfere Übergänge in der LC Orientierung zwischen benachbarten Elektroden beim Anlegen einer Spannung möglich sind.

10 Für eine Anordnung, die auf Ansteuerung von Flüssigkristallen basiert, bei der die Abmessung der Elektroden in der gleichen Größenordnung ist, wie die Dicke der LC Schicht die für eine Phasenmodulation von 2π benötigt wird, kann der Fall auftreten, dass die Ansteuerung der LC über die einzelnen Elektroden nicht völlig unabhängig voneinander erfolgt. Beispielsweise kann der Phasenwert, der an einer bestimmten Position in der Beugungseinrichtung realisiert wird, nicht nur von der Spannung an einer Elektrode, sondern auch von der Spannung an mindestens einer Nachbarelektrode abhängen.

15 Im Gegensatz zu einem Phasen-SLM, bei dem in der Regel für jedes Pixel unabhängig eine Ansteuerung zur Realisierung eines Phasenwertes für dieses Pixel erfolgt, wird daher in einer Ausgestaltung der Erfindung vorgeschlagen, zur Realisierung von Blaze Gittern unterschiedlicher Periode, die Spannungswerte jeweils eines Satzes von Elektroden, die einer Gitterperiode entsprechen, einmalig so zu ermitteln, dass sie den gewünschten Phasenverlauf ergeben. Diese Spannungswerte können z.B. in
20 gespeichert Form für die Ansteuerung bereit gehalten werden. Hierzu kann insbesondere eine Anordnung der Elektroden an den gegenüberliegenden Substraten hilfreich sein, wie sie in Fig. 7 gezeigt ist.

Mit der Beugungseinrichtung werden insbesondere Beugungsstrukturen erzeugt, mit welchen lokale Phasenänderungen des mit den Beugungsstrukturen der Beugungseinrichtung wechselwirkenden Lichts
25 realisiert werden können (Phasengitter). Es könnte problematisch sein, kleine Perioden der Beugungsstrukturen zu realisieren, da gegebenenfalls nur wenige Elektroden auf engem Raum angeordnet sind, beispielsweise nur 5, um für einen bestimmten Betriebszustand eine vorgebbare Phaseneinstellung der Beugungseinrichtung einzustellen. Ein bevorzugtes Beispiel einer Beugungsstruktur bzw. einer vorgebbare Phaseneinstellung ist ein Sägezahnprofil, welches
30 beispielsweise mit der LC-Schicht der Beugungseinrichtung realisiert werden kann. Dies ist in Fig. 8 gezeigt. Die Elektrodenanordnung der in Fig. 8 gezeigten Elektroden ist vergleichbar zu der gemäß Fig. 5 ausgebildet, d.h. oben ist eine flächenförmige Elektrode 32 und gegenüberliegend sind linienförmige Elektroden 26 in einer Ebene E_1 angeordnet (die Substrate sind in Fig. 8 nicht gezeigt). Mit $\varphi(x)$ ist ein Beispiel für einen eingestellten Phasenverlauf der LC-Schicht gezeigt, der sich für die
35 Beugungseinrichtung durchquerendes Licht ergibt, wenn die Elektroden 26 mit einer Verteilung von Spannungen gegenüber dem Potential U_c der Elektrode 32 beaufschlagt werden.

Werden die Elektroden sehr breit ausgestaltet, d.h. beispielsweise das Tastverhältnis von 0,5 auf 0,8 angehoben, so dass die Elektroden 80% der Periode einnehmen, so würde zwar eine weniger

stufenförmige Phasenrampe realisiert werden können, aber der Bereich des 2π -(Phasen)-Sprunges bzw. 2π -Stufe, welche mit dem Bezugszeichen PS in Fig. 8 angedeutet ist, würde deutlich weniger steil ausfallen, als dies in Fig. 8 der Fall ist. Diese Form der allgemeinen, lokal undifferenzierten und nicht variabel wählbaren Glättung stellt einen Tiefpassfilter dar, d.h. reduziert die noch darzustellende höchste räumliche Frequenz des synthetischen, variablen Phasengitters.

Eine vergrabene, in der Ebene E_2 angeordnete zweite Schicht von transparenten Elektroden 54, die beispielsweise den gleichen Abstand der ersten Elektrodenschicht und das gleiche oder ein anderes Tastverhältnis aufweist, kann verwendet werden, um gezielt eine Glättung des Stufenprofils an den Orten zu erreichen, an denen eine Phasenrampe zu realisieren ist, und gleichzeitig eine scharfe Kante der 2π -Stufe zu ermöglichen. In Fig. 9 ist dies dargestellt.

Im Bereich der möglichst linear ansteigenden Flanke der sägezahnförmigen Phasenstufe werden die Elektroden 54 der Ebene E_2 beispielsweise auf den Mittelwert der Spannung ihrer beiden benachbarten Elektroden der Ebene E_1 gesetzt. Von dieser Regel sind jedoch die Elektroden 54 der Ebene E_2 ausgenommen, die direkt unter dem zu realisierenden 2π Sprung liegen. Sie tragen eine Spannung $U_{2\pi}$, die eine möglichst scharfe Kante realisiert.

Der Vorteil einer zweiten Elektrodenkammstruktur, die vergraben ist, liegt darin, dass an der Grenze der Auflösung der beispielsweise verwendeten Kontaktkopie-Lithographie Linienbreiten verwendet werden können, die beispielsweise doppelt so breit sind, wie die Linienbreiten, die verwendet werden müssten, wenn beider Elektrodenkammstrukturen in einer gemeinsamen Ebene liegen würden.

Die Ebene am oberen – in Fig. 10 nicht gezeigten Substrat – ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung auch in Form zweier, übereinander liegender Elektrodenkammstrukturen in zwei unterschiedlichen Ebenen E_3 und E_4 ausgeführt. Dies ist in Fig. 10 dargestellt. Im Vergleich zur Ausgestaltung aus Fig. 9 wird hierdurch ein steilerer Verlauf der Kanten der Phasenstufen erreicht. Die Elektroden 26, 54 sind beispielsweise aus ITO (Indium Tin Oxide) und in hoch brechendes Glas, wie beispielsweise SF66 eingebettet, um nicht als Phasengitter optisch wirksam zu werden.

Mit anderen Worten ist bevorzugt vorgesehen, dass an mindestens einem Substrat der Beugungseinrichtung Elektroden in mindestens zwei unterschiedlichen und zu einer Oberfläche des Substrats parallelen Ebenen angeordnet sind. Die in den unterschiedlichen Ebenen angeordneten Elektroden können lateral zueinander versetzt angeordnet sein. Die Ausmaße der Elektroden und/oder deren Abstände untereinander können sich unterscheiden oder weitgehend gleich sein.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden die Elektroden der Beugungseinrichtung derart beschaltet, dass sich eine elektrische Feldverteilung in der Beugungseinrichtung einstellt, mit welcher sich zumindest bereichsweise eine sägezahnförmige Brechungsindexverteilung mit einer vorgebbaren Periodizität ergibt. Dies kann beispielsweise dadurch erzielt werden, dass bezüglich einer Richtung die nebeneinander angeordneten Elektroden mit jeweils unterschiedlichen elektrischen Spannungen beaufschlagt werden. Dementsprechend ergibt sich zwischen den zwei Substraten der Beugungseinrichtung ein elektrisches Feld, mit welchem das zwischen den zwei Substraten angeordnete Material derart beeinflusst werden kann, dass sich ein sägezahnförmiger Brechungsindexverlauf einstellt.

Hierbei handelt es sich um einen aktiven Zustand, in welchem zwei- und/oder dreidimensionale Bildinhalte erzeugt werden.

Weiterhin könnte vorgesehen sein, dass zur Vorbereitung eines anderen aktiven Zustands, in welchem die Beugungseinrichtung eine andere Beugungsstruktur aufweist, die Elektroden der Beugungseinrichtung derart beschaltet werden, dass sich eine elektrische Feldverteilung in der Beugungseinrichtung einstellt, mit welcher sich eine im Wesentlichen homogene Brechungsindexverteilung ergibt. Hierzu könnten jeweils benachbarte Elektroden eines Substrats mit jeweils elektrischen Spannungen unterschiedlicher Vorzeichen beaufschlagt werden, so dass die elektrischen Feldlinien von einer beispielsweise positiv geladenen Elektrode zu den beiden benachbarten negativ geladenen Elektroden – und nicht zu der gegenüberliegend angeordneten Elektrode des anderen Substrats – verlaufen. Dementsprechend ergibt sich eine elektrische Feldverteilung, deren elektrische Feldlinien einen relativ kleinen Winkel bezogen zur Oberfläche des Substrats aufweisen, so dass in einem mittleren Bereich zwischen den zwei Substraten sich resultierende elektrische Feldlinien ergeben, welche im Wesentlichen parallel zu den Oberflächen der beiden Substrate ausgerichtet sind. Hierbei handelt es sich um einen inaktiven Zustand, in welchem keine zwei- und/oder dreidimensionale Bildinhalte dargestellt werden. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise das zwischen den zwei Substraten angeordnete Material sehr schnell in einen definierten neutralen Zustand überführt werden, aus welchem das Material wieder in einen aktiven Zustand verbracht werden kann, in welchem eine andere Beugungsstruktur realisiert wird.

Damit zum Realisieren einer hohen Bildwiederholrate für den nächsten aktiven Zustand eine vorgebbare Beugungsstruktur bzw. Brechungsindexverteilung sehr schnell eingestellt werden kann, werden gemäß einer bevorzugten Ausführungsform bereits bei dem Einstellen einer im Wesentlichen homogenen Brechungsindexverteilung die Elektroden der Beugungseinrichtung derart beschaltet, dass sich eine elektrische Feldverteilung ergibt, welche die als Nächstes zu erzeugende Brechungsindexverteilung vorbereitet. Dies könnte beispielsweise dadurch erzielt werden, dass an Stellen, an welchen ein großer Brechungsindexunterschied bzw. ein Phasensprung erfolgen soll, die dort angeordneten Elektroden jeweils mit einer entsprechenden Spannung beaufschlagt werden, so dass an diesen Stellen – schon in dem inaktiven Zustand – eine entsprechende Brechungsindexverteilung vorbereitet wird bzw. sich schon teilweise einstellt.

Damit eine Beugungsstruktur schnell eingestellt werden kann, werden die Elektroden der Beugungseinrichtung im zeitlichen Verlauf jeweils mit einer zunächst erhöhten elektrischen Spannung beaufschlagt, als dies zum Einstellen der zu erzeugenden Brechungsindexverteilung erforderlich ist. Die elektrische Spannung wird danach jeweils auf Werte eingestellt, welche zum Einstellen der zu erzeugenden Brechungsindexverteilung erforderlich ist.

Eine Lichtmodulationseinrichtung zur Darstellung von zwei oder dreidimensionalen Bildinhalten erfordert unter Umständen schnelle Reaktionszeiten der Beugungseinrichtung sowie des Lichtmodulators. Im Folgenden werden Möglichkeiten aufgezeigt, mit welchen die Reaktionszeiten der Beugungseinrichtung bzw. des Lichtmodulators verringert werden können, so dass auch ein Lichtmodulator verwendet werden kann, welcher keine Framerate in einer Größenordnung von 150 Hz und höher aufweist.

So könnten zur Darstellung farbiger Bildinhalte der Lichtmodulator und die Beugungseinrichtung zeitlich sequenziell mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen beaufschlagbar sein, beispielsweise mit Licht der Grundfarben rot, grün, blau. Die Beugungseinrichtung ist synchron zur jeweiligen Beleuchtungssituation einstellbar.

5 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform könnte der Lichtmodulator derart mit der Steuereinrichtung ansteuerbar sein, dass in den – gesamten – Lichtmodulator Informationen für ein linkes oder rechtes Auge eingeschrieben wird. Mit der Beugungseinrichtung ist das vom Lichtmodulator für das linke bzw. rechte Auge veränderte Lichtwellenfeld jeweils in das linke oder rechte Auge von mindestens einem Betrachter ablenkbar. Die Informationen für das linke oder das rechte Auge werden zeitlich sequenziell in
10 den Lichtmodulator eingeschrieben.

Alternativ hierzu könnte der Lichtmodulator erste und zweite Bereiche, z.B. Spalten, aufweisen, welche jeweils mit Informationen für ein linkes und ein rechtes Auge beschreibbar sind. Den ersten und zweiten Bereichen des Lichtmodulators sind jeweils erste und zweite Bereiche der Beugungseinrichtung zugeordnet. Der Lichtmodulator und die Beugungseinrichtung sind derart ansteuerbar, dass das von den
15 ersten Bereichen des Lichtmodulators veränderte Lichtwellenfeld – welches im Wesentlichen von den in den ersten Bereichen des Lichtmodulators eingeschriebenen Informationen verändert wurde – von den ersten Bereichen der Beugungseinrichtung zu einem linken Auge mindestens eines Betrachters gelenkt wird. Das von den zweiten Bereichen des Lichtmodulators veränderte Lichtwellenfeld – welches im
20 Wesentlichen von den in den zweiten Bereichen des Lichtmodulators eingeschriebenen Informationen verändert wurde – wird von den zweiten Bereichen der Beugungseinrichtung zu einem rechten Auge des mindestens einen Betrachters gelenkt.

Die ersten und zweiten Bereiche des Lichtmodulators sind alternierend zueinander und wiederholt angeordnet. Alternativ oder zusätzlich sind die ersten und zweiten Bereiche des Lichtmodulators vertikal ausgerichtet, insbesondere handelt es sich um Spalten des Lichtmodulators.

25 Den einzelnen Pixeln des Lichtmodulators könnten Farbfilter zugeordnet sein und/oder den einzelnen Bereichen der Beugungseinrichtung könnten Farbfilter zugeordnet sein.

Im Konkreten könnte dem Lichtmodulator eine Beugungseinrichtung für eine im Wesentlichen in horizontale Richtung wirkende Strahlablenkung nachgeordnet sein. Es ist ein Mittel vorgesehen, beispielsweise eine geeignete Streufolie, mit welchem eine Aufweitung eines Beleuchtungsbereichs –
30 einen so genannten Sweet Spot – in vertikaler Richtung erfolgt.

So kann grundsätzlich eine zeitsequentielle Beleuchtung des Lichtmodulators und der Beugungseinrichtung mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen mit einem hierzu synchronen Einschreiben einer auf das Licht der jeweiligen Wellenlänge abgestimmten Beugungsstruktur in die Beugungseinrichtung vorgesehen sein, um für diese Wellenlängen jeweils den gleichen bzw. einen
35 vorgebbaren Ablenkwinkel zu erreichen. Das synchrone Einschreiben von auf das Licht der jeweiligen Wellenlängen angepassten Bildinhalten in den Lichtmodulator kann ebenfalls zeitsequentiell für diese Wellenlängen erfolgen kann.

Alternativ hierzu kann ein Lichtmodulator mit räumlichem Farbmultiplexing, also mit Farbfiltern, verwendet werden. Der darzustellende Bildinhalt für Licht mehrerer Wellenlängen kann dann synchron bzw. in Abhängigkeit der Beleuchtungssituation oder in einem einzelnen Kodierungsvorgang in den Lichtmodulator eingeschrieben werden. Dies erlaubt die Kombination eines Lichtmodulators mit einer größeren Reaktionszeit mit einer Beugungseinrichtung mit einer geringeren Reaktionszeit. Beispielsweise kann der Lichtmodulator eine Bildwiederholrate von 120 Hz aufweisen und die Beugungseinrichtung eine Bildwiederholrate vom 360 Hz. So können also den einzelnen Pixeln des Lichtmodulators jeweils Farbfilter zugeordnet sein, wobei die jeweiligen Farbfilter der Pixel zweckmäßigerweise den üblicherweise verwendeten drei Grundfarben entsprechen, z.B. Rot, Grün, Blau. Die Pixel des Lichtmodulators werden mit Informationen beschrieben und zwar im allgemeinen Fall unabhängig von deren jeweiligen Farbzueinander. Insbesondere wenn der Schreibvorgang für sämtliche Pixel des Lichtmodulators abgeschlossen ist, wird der Lichtmodulator mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen – entsprechend den Grundfarben verwendeten Farbfilter – zeitsequenziell beaufschlagt. Die Modulation der Beleuchtung ist im kHz Bereich möglich und nicht der zeitlich beschränkende Faktor. Die einzelnen Pixel des Lichtmodulators wirken entsprechend den ihnen zugeordneten Farbfiltern. Die Beugungseinrichtung wird synchron zur jeweiligen Beleuchtungssituation angesteuert.

In einer vorteilhaften Ausführung erfolgt aber auch der Schreibvorgang abhängig von der Farbzueinander. Es werden erst alle Pixel einer Grundfarbe geschrieben dann zeitsequenziell die von anderen Grundfarben in der gleichen Reihenfolge wie die nachfolgende Beaufschlagung mit Licht der Grundfarben. Beispielsweise werden zuerst alle roten Pixel geschrieben dann alle grünen und dann alle blauen. Danach werden alle roten Pixel mit Licht beaufschlagt, dann alle grünen und dann alle blauen. Dabei kann die Ansteuerungsmatrix der drei Grundfarben des RGB-Lichtmodulators als eine ineinander-Verschachtelung von drei Monochromen Lichtmodulatoren aufgefasst werden, welche zueinander in der zeitlichen Ansteuerung eine Phasenverschiebung von $2\pi/3$ aufweisen, d.h. jeweils um ein Drittel der Bildwiederholfrequenz zueinander versetzt sind. Vorteilhaft hat dabei die zur Verfügung stehende Reaktionszeit, in der die Pixel nach dem Einschreiben bis zum Beaufschlagen mit Licht der jeweiligen Grundfarbe ihren Modulationszustand einstellen können, für alle Grundfarben einen Mindestwert, der der Schreib- und Beaufschlagungszeit der anderen Farben entspricht.

Falls eine oder mehrere Beugungseinrichtungen vorgesehen ist bzw. sind, bei welchen die Elektrodenstruktur nur im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden aufweist, ist auch ein räumliches Multiplexing möglich, beispielsweise von auf Licht unterschiedlicher Wellenlängen abgestimmte Beugungsstrukturen in der Beugungseinrichtung. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird im Folgenden eine horizontale Ablenkung betrachtet. In diesem Fall werden bestimmte räumliche Abschnitte der Beugungseinrichtung bestimmten Spalten des Lichtmodulators zugeordnet. In die entsprechenden räumlichen Abschnitte der Beugungseinrichtung wird dann eine solche Beugungsstruktur derart eingeschrieben, dass Licht von der jeweiligen Pixelspalte des Lichtmodulators unter einem bestimmten Winkel abgelenkt wird. Licht nebeneinander liegender roter, grüner oder blauer Pixel kann beispielsweise durch angepasste Beugungsstrukturen in den einzelnen räumlichen Bereichen der Beugungseinrichtung jeweils unter dem gleichen Winkel abgelenkt werden. Es können auch beispielsweise Bildinhalte, die für das linke oder für das rechte Auge eines Betrachters

vorgesehen sind, unter verschiedenen Winkeln abgelenkt werden. In diesem Fall kann also im Lichtmodulator die Information für das linke und das rechte Auge eines Betrachters in Form eines räumlichen Multiplexing gleichzeitig eingeschrieben sein. Im Fall des Farbmultiplexing ist es auch möglich, dass sowohl der Lichtmodulator als auch die Beugungseinrichtung Farbfilter aufweisen. Damit
5 kann ein Übersprechen der Pixelspalten des Lichtmodulators zu räumlichen Bereichen der Beugungseinrichtung, welche der jeweiligen Pixelspalte des Lichtmodulators nicht zugeordnet sind, nahezu vollständig eliminiert werden.

Ein Multiplexing kann auch erfolgen, indem Teile einer Pixelspalte des Lichtmodulators unterschiedliche Abschnitte der Beugungseinrichtung zugeordnet werden. So kann beispielsweise Licht von einer linken
10 Hälfte einer Pixelspalte mit einem ihr zugeordneten räumlichen Abschnitt der Beugungseinrichtung in eine bestimmte Richtung abgelenkt und Licht von einer rechten Hälfte einer Pixelspalte mit einem anderen ihr zugeordneten Abschnitt der Beugungseinrichtung in eine andere Richtung abgelenkt werden. Dies kann verwendet werden, um für das gleiche Auge mehrerer Betrachter jeweils gleiche Bildinhalte anzuzeigen. Anstelle der räumlichen Unterteilung von einer Pixelspalte zugeordneten Abschnitten der
15 Beugungseinrichtung kann wahlweise auch eine Superposition mehrerer Ablenkfunktionen in die Beugungseinrichtung eingeschrieben werden. Eine solche Superposition führt zwar im allgemeinen Fall zu einer komplexwertigen Ablenkfunktion. Zum Einschreiben in eine phasenmodulierende Beugungseinrichtung könnte diese jedoch durch eine Phasenfunktion approximiert werden. Zu dieser Approximierung können bekannte Verfahren, wie beispielsweise iterative Fouriertransformation (IFTA),
20 verwendet werden. Alternativ kann aber auch eine Beugungseinrichtung verwendet werden, die das Licht beugt, indem sie sowohl seine Amplitude als auch seine Phase moduliert. Eine Beugung durch Modulation von Amplitude und Phase kann auch erfolgen, indem zwei Beugungseinrichtungen nacheinander angeordnet sind, bei welchen die Elektrodenstruktur im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden aufweist, und von denen die eine
25 Beugungseinrichtung die Amplitude des Lichtes moduliert und die zweite Beugungseinrichtung die Phase des Lichtes moduliert. Basieren die Beugungseinrichtungen beispielsweise auf der Verwendung von Flüssigkristallen, so kann eine Modulation von entweder Amplitude oder Phase durch eine geeignete Wahl der Polarisation des Lichtes, etwa durch Verwendung von Polarisatoren und/oder Verzögerungsplatten, eingestellt werden.

30 Eine andere Möglichkeit, für das gleiche Auge mehrerer Betrachter – also für mehrere linke Augen oder für mehrere rechte Augen – jeweils den gleichen Bildinhalt mit dem Lichtmodulator anzuzeigen, besteht darin, wiederum einen Lichtmodulator mit einer niedrigeren Bildwiederholrate und eine Beugungseinrichtung mit einer höheren Bildwiederholrate zu kombinieren. Während auf dem Lichtmodulator eine Wesentlichen gleichbleibende Information – beispielsweise ein Hologramm oder ein
35 Stereobild für das linke Auge – eingeschrieben bleibt, lenkt die Beugungseinrichtung nacheinander Licht an die Position der gleichen Augen der einzelnen Betrachter ab.

Insbesondere können die verschiedenen beschriebenen Arten, um Farben oder Betrachteraugen zeitlich oder räumlich zu multiplexen, auch kombiniert werden. Beispielsweise könnte ein Lichtmodulator mit 120 Hz Bildwiederholrate und Farbfiltern verwendet werden und eine Beugungseinrichtung mit 720 Hz
40 Bildwiederholrate. In den Lichtmodulator würde die Information für das linke Auge eingeschrieben und mit

der Beugungseinrichtung nacheinander für 3 unterschiedliche Farben Licht zu den linken Augen von 2 Betrachtern gelenkt. In der Folge würde in den Lichtmodulator die Information für das rechte Auge eingeschrieben, sequenziell mit Licht der jeweiligen Farbe beleuchtet und wieder mit der Beugungseinrichtung synchron zur Beleuchtungssituation nacheinander für die jeweiligen Farben Licht zu den rechten Augen von zwei oder mehr Betrachtern gelenkt. Auch in diesem Fall kann zum Beispiel das Einschreiben der Information für das rechte Auge und die blaue Farbe in den Lichtmodulator bereits erfolgen, während noch mit der Beugungseinrichtung Licht für die rote oder grüne Farbe zu den linken Augen gelenkt wird.

Vorzugsweise ist in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds der Beugungseinrichtung eine weitere Beugungseinrichtung nachgeordnet. In der weiteren Beugungseinrichtung ist eine Beugungsstruktur einer Periodizität einstellbar, welche eine vorgebbare Richtung oder Struktur aufweist, die sich von der vorgebbaren Richtung oder Struktur der Periodizität einer eingestellten Beugungsstruktur der dem Lichtmodulator nachgeordneten (ersten) Beugungseinrichtung unterscheidet. Hierdurch kann eine Betrachternachführung in einer anderen Richtung erfolgen, als das mit der ersten Beugungseinrichtung möglich ist.

Die zwei Beugungseinrichtungen könnten derart zueinander angeordnet sein, dass die vorgebbare Richtung oder die Struktur der Periodizität der Beugungsstruktur der (ersten) Beugungseinrichtung im Wesentlichen senkrecht zu der vorgebbaren Richtung oder Struktur der Periodizität der Beugungsstruktur der weiteren Beugungseinrichtung steht. Im Konkreten könnte die erste und die zweite Beugungseinrichtung jeweils ein Substrat mit im Wesentlichen linear ausgebildeten, im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten und in einer vorgebbaren Richtung ausgerichteten Elektroden aufweisen. Die zwei Beugungseinrichtungen sind derart zueinander angeordnet, dass die linear ausgebildeten Elektroden der ersten Beugungseinrichtung im Wesentlichen senkrecht zu den linear ausgebildeten Elektroden der zweiten Beugungseinrichtung ausgerichtet sind. Die Elektroden der beiden Beugungseinrichtungen können hierbei in im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Ebenen liegen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die im Wesentlichen linear ausgebildeten und im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden der Beugungseinrichtung in einem Winkel relativ zur Horizontalen derart ausgerichtet, dass sich eine Lichtverteilung des an der Beugungseinrichtung gebeugten Lichts in einer Betrachterebene ergibt, welche ein Auftreten von Lichtintensitäten in Betrachteraugen, die benachbart zu Betrachteraugen mit einem Sichtbarkeitsbereich liegen, weitgehend unterdrückt werden. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die erfindungsgemäße Lichtmutationsvorrichtung für ein Display zur Darstellung holographischer dreidimensionaler Bildinhalte eingesetzt wird, welches nach den in der WO 2006/0669191 A1 beschriebenen Prinzipien arbeitet. Hierbei kann eine in die Lichtmutationsvorrichtung kodierte 3D-Szene mit zumindest teilweise kohärentem Licht für mindestens einen Betrachter holographisch rekonstruiert werden. Der Betrachter sieht die Rekonstruktion bzw. die dreidimensionale Szene, wenn seine Augen mit dem für seine Position erzeugten Sichtbarkeitsbereich in der Betrachterebene übereinstimmen. Ändert der Betrachter seinen Abstand vom Display oder bewegt er sich lateral vor dem Display, wird ihm der Sichtbarkeitsbereich nachgeführt. Dazu ermittelt ein Positionserfassungssystem die Position der

Betrachteraugen, und damit auch die Ablenkwinkel der Lichtbündel von der optischen Achse des Displays zum Betrachterauge, und aktualisiert die Positionsdaten. Das Positionserfassungssystem ist über Steuermittel mit dem Lichtmodulator verbunden. Der Sichtbarkeitsbereich eines erfassten Betrachterauges wird für einen Bereich zwischen zwei benachbarten Beugungsordnungen und damit zwei benachbarten Lichtquellenbildern vorgegeben. Damit wird verhindert, dass ein Intensitätsmaximum in diesem Auge liegt und beim Betrachten der Rekonstruktion stört. Dagegen bestimmt die Form der Öffnung der Modulatorzelle die Aufteilung der gesamten Intensität einer Lichtquelle auf ihre erzeugten einzelnen Lichtquellenbilder. Grundsätzlich kann ein Übersprechen der Intensitäten bzw. ein Wahrnehmen von Beugungsordnungen in einem dem aktuell erzeugten Sichtbarkeitsbereich benachbarten Auge auftreten. Dies kann mit unterschiedlichen Ansätzen reduziert oder ganz unterdrückt werden. Ein ähnlicher Effekt könnte durch die mindestens eine dem Lichtmodulator nachgeordnete Beugungseinrichtung hervorgerufen werden, welcher ebenfalls zu reduzieren oder zu unterdrücken ist. Gerade dies kann durch die entsprechend Ausrichtung der Elektroden unter einem vorgebbaren Winkel relativ zur Horizontalen erzielt werden.

Der Lichtmodulator und/oder die Beugungseinrichtung weist entlang mindestens einer Richtung eine periodische Struktur mit einer vorgebbaren Periodizität auf. Der Lichtmodulator weist in der Regel eine matrixförmige Struktur auf, d.h. eine Gitterstruktur in zwei unterschiedlichen Richtungen. Die Beugungseinrichtung weist bevorzugt eine periodische Struktur in lediglich einer Richtung auf. Im Konkreten ist vorgesehen, dass der Lichtmodulator und die Beugungseinrichtung eine periodische Struktur mit einer vorgebbaren Periodizität aufweisen. Die Periodizität der Beugungseinrichtung ist kleiner als die Periodizität des Lichtmodulators oder die Periodizität der Beugungseinrichtung ist gleich der Periodizität des Lichtmodulators. Die Periodizität der Beugungseinrichtung könnte beispielsweise um einen Faktor kleiner als die Periodizität des Lichtmodulators sein, der einen Wert aufweist, der in einem Bereich zwischen 2 und 150 liegt.

Die Beugungseinrichtung weist einzelne Beugungselemente auf, in welche binäre, diskrete oder kontinuierliche Werte einstellbar sind. Diesen Werten könnten insbesondere eingestellte Orientierungen der Flüssigkristalle entsprechen, welche entsprechende Phasenänderungen des das jeweilige Beugungselement der Beugungseinrichtung durchlaufenden Lichts bewirken. Die eingestellten bzw. eingeschriebenen Werte der Beugungselemente der Beugungseinrichtung bilden die Beugungsstruktur. Ein Beugungselement könnte insbesondere eine Elektrode und das bei dieser Elektrode angeordnete LC Material sein.

Eine Feldlinsenfunktion für das Display könnte dadurch erzielbar sein, dass vorgebbare Phasenterme in die Beugungseinrichtung eingeschrieben werden. Alternativ oder zusätzlich könnte ein fokussierendes optisches Bauteil vorgesehen sein, mit welchem eine Feldlinsenfunktion für das Display realisiert werden kann. Das fokussierende optische Bauteil könnte in Form eines Bragg Gitters vorgebbarer Eigenschaft ausgeführt sein.

Wie bereits angedeutet, könnte eine Temperaturkompensation vorgesehen sein, welche eine aktive Temperaturregelung mit mindestens einem Temperatursensor und mindestens einem thermodynamischen Element – beispielsweise ein Peltier-Element – aufweist. Ein Peltier-Element kann

dabei lokal zur Kühlung, zur Erwärmung und/oder zur Temperaturmessung (U(T))eingesetzt werden. Alternativ oder zusätzlich könnte eine Temperaturkompensation durch das Einschreiben eines vorgebbaren Phasenverlaufs in den Lichtmodulator realisiert werden.

Ein vorgebbarer Ablenkwinkel für Licht unterschiedlicher Wellenlängen wäre auch dann einstellbar, wenn der Lichtmodulator und die Beugungseinrichtung zeitsequentiell mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge beleuchtet werden. Synchron hierzu wird eine auf die aktuell verwendete Wellenlänge des Lichts abgestimmte Beugungsstruktur in die Beugungseinrichtung eingeschrieben. Dies kann für die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau erfolgen, so dass eine Farbdarstellung der Bildinhalte mit dem Display möglich ist.

Bevorzugt ist die Beugungseinrichtung benachbart zum Lichtmodulator angeordnet. Eine gegebenenfalls vorgesehene weitere Beugungseinrichtung ist benachbart zur ersten Beugungseinrichtung angeordnet. Benachbart in diesem Zusammenhang ist insbesondere so zu verstehen, dass keine weitere optische Komponente zwischen Lichtmodulator und Beugungseinrichtung bzw. zwischen den beiden Beugungseinrichtungen angeordnet ist oder dass die jeweiligen Komponenten in räumlicher Nähe zueinander angeordnet sind. Mit in räumlicher Nähe könnte ein Abstandsbereich von 0 bis 10 mm bezeichnet werden. Es ist auch denkbar, dass zumindest zwei der folgenden Komponenten als Sandwich ausgestaltet sind: der Lichtmodulator, die Beugungseinrichtung und die weitere Beugungseinrichtung. In diesem Fall ist beim Herstellungsprozess die eine Komponente unmittelbar an die andere Komponente angebaut worden. Einzelne Komponenten des Sandwichs könnten ein gemeinsames Bauteil aufweisen, insbesondere ein Substrat. In das Sandwich könnte auch das die Feldlinsenfunktion realisierende Bauteil integriert sein.

Bezüglich eines Displays ist die eingangs genannter Aufgabe durch die Lehre des Anspruchs 37 gelöst. Demgemäß ist ein erfindungsgemäßes Display gekennzeichnet durch eine Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 36. Das Display ist derart ausgestaltet, dass stereoskopische Bildinhalte und/oder stereoskopische Multi-View-Bildinhalte und/oder holographische Bildinhalte darstellbar sind. Ein solches Display (3D-Display) ist also in der Lage, dreidimensionale Bildinhalte für die menschliche Wahrnehmung dreidimensional darzustellen. Hinsichtlich der möglichen Ausgestaltungen der Lichtmodulationsvorrichtung wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den vorangegangenen Teil der Beschreibung verwiesen.

Für 3D-Displays ist es vorteilhaft, eine Umschaltung zwischen einem 3D-Modus und einem 2D-Modus realisieren zu können, wobei im 2D-Modus herkömmliche zweidimensionale Bilddaten übertragen bzw. dargestellt werden können.

Grundsätzlich ist es für das erfindungsgemäße 3D-Display denkbar, die Betrachternachführung beizubehalten, und bezüglich des dargestellten Inhalts die Information für die 3D-Szene durch einen 2D-Bildinhalt zu ersetzen. Vorteilhaft wäre jedoch eine Umschaltung zu einem 2D-Display in der Weise zu realisieren, dass ein ortsfester großer Betrachterbereich vorliegt und keine Nachführung (Tracking) eines kleinen Betrachterfensters an die momentane Augenposition des Betrachters erforderlich ist.

Es werden daher zwei Möglichkeiten der 3D-2D-Umschaltung vorgeschlagen:

(a) Es ist eine zusätzliche optische Einrichtung vorgesehen, welche in dem Aufbau und in der Form ein schaltbares streuendes Medium umfasst. Im inaktiven bzw. ausgeschalteten Zustand ist das Medium transparent. Im eingeschalteten Zustand wirkt das Medium streuend. Als schaltbares Streumedium kommen beispielsweise Polymer Dispersed Liquid Crystals (PDLC) in Frage. Die zusätzliche optische Einrichtung könnte auf der dem Betrachter zugewandten Seite des Displays angeordnet sein, sozusagen als letzte optische Komponente des Displays. Im aktiven Zustand der optischen Einrichtung wäre die Beugungseinrichtung zu deaktivieren. Hierdurch wäre der 2D-Modus des 3D-Displays realisiert. Falls die optische Einrichtung deaktiviert und die Beugungseinrichtung aktiviert ist, befindet sich das 3D-Display im 3D-Modus. Bei dieser Möglichkeit ist daher eine zusätzliche Komponente im Aufbau erforderlich.

10 Die zweite bevorzugte Möglichkeit ist:

(b) Die Beugungseinrichtung selbst wird zwischen zwei Betriebsmodi umgeschaltet. In dem einen Betriebsmodus (3D-Modus) wird die Beugungseinrichtung derart angesteuert, dass sie auf eine gezielte Position Licht ablenkt. In dem anderen Betriebsmodus (2D-Modus) wird die Beugungseinrichtung derart angesteuert, dass sie eine streuende Funktion aufweist. Dazu wird eine codierte Diffusorfunktion verwendet. Dies kann beispielsweise durch eine zufällige Phasenverteilung oder auch durch eine gezielt optimierte Phasenverteilung realisiert werden, die anstelle eines regelmäßigen Gitters durch entsprechende Ansteuerung in der Beugungseinrichtung eingestellt wird. Werden zwei gekreuzte Beugungseinrichtungen verwendet, so wird die erste zur horizontalen und die zweite zur vertikalen Streuung verwendet.

20 In holografischen Displays werden Full-Parallax-Hologramme oder Single-Parallax-Hologramme verwendet. Single-Parallax-Hologramme stellen eine Vereinfachung bezüglich des Berechnungs- bzw. Codierungsaufwandes dar. Single-Parallax-Hologramme erlauben unter anderem die Verwendung einer Beleuchtungseinrichtung, die nur in Codierungsrichtung bzw. Parallaxrichtung kohärent ist. In der einen Richtung (der Codierungsrichtung) kann ein Betrachterfenster erzeugt werden, in einer anderen Richtung (senkrecht dazu) ein Sweet Spot, vergleiche beispielsweise hierzu WO 2006/027228 A1.

Eine Beugungseinrichtung zur Betrachternachführung benötigt in der Regel kohärentes Licht. Dabei ist es jedoch nicht erforderlich, dass Kohärenz über die gesamte Fläche der Beugungseinrichtung vorliegt. Es ist für die Funktion der Beugungseinrichtung vielmehr ausreichend, wenn die Kohärenz über einige Perioden des Gitters vorliegt.

30 Es wird also vorgeschlagen, eine Beleuchtungseinrichtung (unter Nutzung des bekannten van-Cittert-Zernike Theorems) in ihren Abmessungen, Eigenschaften und insbesondere in ihrem Winkelspektrum bezüglich der Verteilung der Pointing-Vektoren des von der Beleuchtungseinrichtung emittierten Lichts derart zu gestalten, dass zur Betrachternachführung bei einer Single-Parallax-Hologramm-Codierung senkrecht zur Codierungsrichtung mit einer Beugungseinrichtung partielle Kohärenz vorliegt, derart, dass mehrere Gitterperioden der Beugungseinrichtung noch weitgehend räumlich kohärent zueinander beleuchtet werden, aber unterschiedliche Pixel des SLM weitgehend inkohärent zueinander sind. Hiermit kann die Betrachternachführung kohärent durchgeführt werden, aber weiterhin ein Sweet Spot erzeugt werden.

Bei einem Pixelpitch des SLM von beispielsweise 50 μm und einem Pitch der Beugungseinrichtung von 2 μm , wäre es beispielsweise möglich, ca. 25 Gitterperioden der Beugungseinrichtung kohärent zu beleuchten, aber benachbarte Pixel des SLM weitgehend inkohärent zu beleuchten.

Hinsichtlich des Verfahrens zur Herstellung einer Lichtmodulationsvorrichtung ist die eingangs genannte Aufgabe durch die Lehre des Patentanspruches 40 gelöst. Demgemäß dient das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 36. Das Herstellungsverfahren weist die folgenden Verfahrensschritte auf:

- a) Beschichten eines ersten Substrats mit Elektroden,
- b) Aufbringen einer Materialschicht auf einer Oberfläche des ersten Substrats,
- 10 c) Aufbringen eines zweiten, mit Elektroden beschichteten Substrats, wobei die zwei Substrate derart zueinander ausgerichtet werden, dass die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten Substrats im Wesentlichen parallel zu den linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des zweiten Substrats ausgerichtet sind.

15 Im Schritt b) könnte beispielsweise ein dünner Polymerfilm auflaminiert werden, der Flüssigkristalle oder Carbon Nano Tubes oder metallische elliptische Nanopartikel enthält.

Gemäß Schritt e) könnte nun eine weitere Materialschicht, beispielsweise ein weiterer Polymerfilm, auflaminiert werden.

Weiterhin könnten die weiteren Verfahrensschritte vorgesehen sein:

- 20 d) nach Schritt b) wird eine Elektroden aufweisende Zwischenelektrodenschicht auf die Materialschicht aufgebracht,
- e) auf der Zwischenelektrodenschicht wird eine weitere Materialschicht aufgebracht.

Die Schritte d) und e) können mindestens ein weiteres mal ausgeführt werden.

Hierbei könnte das erste Substrat und die mindestens eine Zwischenelektrodenschicht derart zueinander ausgerichtet werden, dass die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten Substrats im Wesentlichen parallel zu den linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden der Zwischenelektrodenschicht ausgerichtet sind.

Zum Aufbringen von Elektroden auf ein Substrat gemäß Verfahrensschritt a) oder auf eine Materialschicht gemäß Verfahrensschritt d) könnte ein "Lift off" Prozess verwendet werden. Alternativ hierzu könnten Elektroden dadurch aufgebracht werden, dass ein elektrisch leitender Film aus einer Flüssig- oder Gas-Phase auf das Substrat oder auf die Materialschicht abgeschieden wird. Ein Photoresist wird auflaminiert, aufgeschleudert, oder auch aufgesprüht. Der Photoresist wird mit einem streifenförmigen Muster belichtet. Die Belichtung kann z.B. in Kontaktkopie erfolgen. Die Streifen können auch in Form eines Zweistrahlinterferenzmusters erzeugt werden. Der belichtete Photoresist wird z.B. mit

KOH entwickelt (AZ Hoechst). Die frei liegenden Linien der leitenden Schicht werden mit einer Lösung weggeätzt. Der restliche, d.h. stehengebliebene Photoresist wird mit Remover entfernt. Die Lücken zwischen den Elektroden könnten gefüllt werden, indem z.B. ein nichtleitendes, hinreichend transparentes Material aus der Flüssig- oder Gas-Phase abgeschieden wird.

5 Falls in der Ebene der Elektroden eines Substrats aus der Beugungseinrichtung ein Polarisator vorzusehen ist, der als Wire Grid Polarizer im Wesentlichen parallel zu den Elektroden verläuft, können mehrere Linien bzw. elektrisch leitende Strukturen des Wire Grid Polarizer zusammen kontaktiert werden, womit z.B. drei oder vier Linien zusammen dann eine Elektrode der Beugungseinrichtung bilden können. Die so resultierenden Elektroden können zur elektrischen Ansteuerung von einer Seite oder von zwei
10 gegenüberliegenden Seiten kontaktiert werden.

Alternativ können auch ITO-Elektroden-Linien parallel zu den Wire Grid Polarizer Linien über diesen Wire Grid Polarizer Linien und in elektrischem Kontakt zu diesen Wire Grid Polarizer Linien aufgebracht werden. Dies könnte beispielsweise mit Hilfe von bereichsweisen Belichtungsprozessen (Stiching) erfolgen, wobei hierzu der in der Halbleiterfertigung einzuhaltende Overlay Error von 15 nm nicht
15 eingehalten werden muss. Für die hier vorgesehene Herstellung der ITO-Elektroden-Linien ist ein Overlay Error von 150 nm bis 250 nm ausreichend. Dies hat zum Vorteil, dass die Leitfähigkeit der ITO-Elektroden-Linien und den hiermit elektrisch kontaktierten Wire Grid Polarizer Linien im Vergleich zu ITO-Strukturen alleine deutlich erhöht ist und hohe Schaltfrequenzen erreicht werden können, beispielsweise > 1 kHz.

20 Der Vorteil der Nutzung eines Wire Grid Polarizer als Elektroden einer Beugungseinrichtung ist, dass die elektrische Leitfähigkeit über der elektrischen Leitfähigkeit des ITO liegt und sich im Fernfeld eines holographischen Displays keine Amplituden- oder Phasenmodulation in Form von Licht, welches in den einzelnen Beugungsordnungen vorliegt, bemerkbar macht. Zusammen mit ITO ergibt sich eine noch höhere elektrische Leitfähigkeit, oder die Option, auch unterbrochene Linien des Wire Grid Polarizer
25 verwenden zu können.

Die folgenden Ausführungen betreffen die Maßnahme, dass ein Substrat der Beugungseinrichtung eine flächenförmige Elektrode aufweist, welche von den im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden isolierend getrennt ist und/oder die Maßnahme, dass die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten Substrats zu der Ausrichtung
30 der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des zweiten Substrats oder einer Zwischenelektroden-schicht einen vorgebbaren Winkel aufweisen, welcher in einem Bereich zwischen 0 und 90 Grad, vorzugsweise 0 Grad, liegt. Hiermit kann für bestimmte LC Moden ein schnelles Ein- bzw. Ausschalten einer Konfiguration der LC Moleküle erzielt werden oder aber die Orientierung der LC Moleküle können über einen üblicherweise vorgegebenen maximalen Winkelbereich hinaus
35 ausgerichtet bzw. orientiert werden. Da die folgenden Ausführungen nicht nur auf eine Beugungseinrichtung im Sinn der vorliegenden Erfindung anwendbar sind bzw. zutreffen, sind die folgenden Ausführungen auch im weiteren Sinn anwendbar für Lichtmodulatoren, SLM und/oder LC Displays.

So ist für den Einsatz von LC Displays die Schaltzeit, also die Zeit bis eine gewünschte Orientierung des LC in einem Pixel des Displays erreicht ist, ein wesentlicher Parameter, der bestimmt mit welchen Frame Raten das Display betrieben werden kann. Häufig ist dabei nicht nur eine schnelle Einschaltzeit, sondern auch eine schnelle Ausschaltzeit erforderlich.

5 In der Regel wird nur einer dieser Prozesse – Ein- oder Ausschalten – über ein elektrisches Feld getrieben. Meist hat der LC eine vorgegebene Oberflächenorientierung durch einen Alignmentlayer. Beim Einschalten erfolgt beispielsweise eine Umorientierung der LC durch eine Wechselwirkung der dielektrischen Anisotropie des LC-Materials mit einem angelegten elektrischen Feld. Die Geschwindigkeit dieses Prozesses kann durch den Wert der Feldstärke beeinflusst werden.

10 Nach Abschalten des Feldes erfolgt eine Relaxation zurück in den durch die Oberflächenorientierung des Alignmentlayers bestimmten Zustand. Die Geschwindigkeit dieser Relaxation wird üblicherweise nur durch Materialeigenschaften des LC, wie dessen Viskosität beeinflusst und ist meist langsamer als der Einschaltprozess.

15 Eine schnellere Reaktion des LC kann jedoch bei einer Anordnung erhalten werden, in der beide Prozesse – Ein- und Ausschalten – durch ein Feld angesteuert werden. Wird im Ausschaltprozess ein Feld angelegt, das eine Orientierung einstellt, die im Wesentlichen parallel zur der Oberflächenorientierung des LC ist, so wirken beide Prozesse – Feld und Relaxation – zusammen. Das Feld unterstützt und beschleunigt damit die Rückorientierung in die Lage der Oberflächenorientierung.

20 Insoweit ist also eine geeignete Elektrodenanordnung anzugeben, die es erlaubt, elektrische Felder anzulegen die, zum Einen – beim Einschalten – die LC Orientierung aus der Oberflächenorientierung weg bewegen, und zum Anderen – beim Ausschalten – auch wieder zur Oberflächenorientierung hin bewegen.

25 Weiterhin ist es beispielsweise auch möglich eine herkömmliche Elektrodenanordnung zu verwenden, wenn anstelle der dielektrischen Kopplung eine Wechselwirkung wie Flexoelektrizität verwendet wird, die linear von dem Feld abhängt und bei der Vorzeichenabhängig der Drehsinn der LC Moleküle geändert werden kann. Dies ist beispielsweise in der WO 2008/104533 beschrieben. Etwas aufwendigere Elektrodenanordnungen sind jedoch nötig, wenn, wie in den meisten LC Displays üblich, die dielektrische Wechselwirkung, die quadratisch mit dem Feld wirkt, unabhängig vom Vorzeichen ist.

30 Bezüglich der Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Lichtmodulationsvorrichtung kann durch das Raster linienförmiger Elektroden in der Beugungseinrichtung beispielsweise ein sägezahnförmiges Phasenprofil eingestellt werden. Das Sägezahnprofil kann über eine variable Out-of-Plane Orientierung der LC aufgrund eines entsprechenden Out-of-Plane Feldes zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat eingestellt werden. Die linienförmige Elektrodenanordnung ermöglicht auch das Anlegen eines In-Plane Feldes. Mit diesem kann der Ausschaltprozess beschleunigt werden, indem die LC Moleküle
35 wieder in ihre durch die Oberflächenorientierung vorgegebene In-Plane Orientierung zurückbewegt werden.

Andere Typen von Beugungseinrichtungen oder Lichtmodulatoren, die beispielsweise auf IPS (In-Plane Switching) oder FFS LM Mode (Fringe Field Switching) basieren, nutzen jedoch eine In-Plane Drehung von LC Molekülen im Feld in Kombination mit einer Oberflächenorientierung, die auch In-Plane ist. Dann ist das oben beschriebene Schema mit In-Plane Feld für schnelles Ausschalten nicht unmittelbar anwendbar.

In der Veröffentlichung "Fast-response liquid-crystal displays using crossed fringe fields", Yan Li et al., Journal of the SID, 16/10 2008, p.1069-1074, wird ein Amplituden-Lichtmodulator beschrieben, bei dem Elektroden auf einem unteren und einem oberen Substrat in einem Winkel von 60 Grad zueinander angeordnet sind. Die Oberflächenorientierung der LC Moleküle ist um 10 Grad gegen die Elektroden auf dem unteren Substrat geneigt. Hierdurch wird ein Drehsinn beim Einschalten vorgegeben. Für die Amplitudenmodulation wird eine Drehung der LC Moleküle in der Ebene von maximal 45 Grad benötigt. Sind die Moleküle um 45 Grad gedreht, so stehen sie fast parallel zu den Elektroden auf dem oberen Substrat, weisen allerdings noch einen kleinen Winkel von etwa 5 Grad dazu auf. Ein Fringe Field auf dem oberen Substrat beschleunigt dann die Rückbewegung der Moleküle.

Dementsprechend ist also eine Elektrodenanordnung anzugeben, die für diese LC Moden wie IPS oder FFS, insbesondere auch für phasenmodulierende Lichtmodulatoren oder für Beugungseinrichtungen geeignet ist, um ein schnelles Ausschalten zu erreichen.

Bei einem die Phase modellierenden Lichtmodulator bzw. Display mit einer In-Plane Orientierung der LC Moleküle ist es erforderlich, einen Winkelbereich von 180 Grad Orientierung der LC einzustellen, wenn eine Phasenmodulation von bis zu 2π zu erreicht werden soll. Lösungsansätze hierzu sind in der DE 10 2009 059 095.1 beschrieben, welche hiermit vollumfänglich hier einbezogen wird. Ein Lösungsansatz beruht auf schaltbaren Alignmentlayern. Diese erfordern jedoch unter anderem die Verarbeitung eines zusätzlichen speziellen Materials für den schaltbaren Alignmentlayer in der Herstellung eines LC Displays. Insoweit wäre es wünschenswert, mit Standardkomponenten in einem LC Display das Einstellen eines großen Winkelbereiches der LC Orientierung zu ermöglichen.

Die hier erwähnten Probleme können mit einem Lichtmodulator oder einer Beugungseinrichtung gelöst werden, welche eine LC Schicht zwischen zwei Substraten aufweist. Der Lichtmodulator bzw. die Beugungseinrichtung dient vorzugsweise zur Phasenmodulation von zirkular polarisiertem Licht durch im Wesentlichen In-Plane-Drehung bzw. Orientierung der LC Moleküle. Der Lichtmodulator bzw. die Beugungseinrichtung umfasst im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden an dem ersten und an dem zweiten Substrat. Die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des ersten Substrats weist zu der Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden des zweiten Substrats einen vorgebbaren Winkel auf, welcher in einem Bereich zwischen 0 und 90 Grad liegt.

Auf Grund einer geeigneten Ansteuerung der Elektroden auf dem ersten Substrat kann durch ein elektrisches Feld die Feineinstellung des Winkels der In-Plane LC Orientierung eingestellt werden. Mit Hilfe einer geeigneten Ansteuerung der Elektroden auf dem zweiten Substrat kann durch ein elektrisches Feld der Winkelbereich der LC Orientierungen vergrößert und/oder der Rückstell- bzw. Ausschaltvorgang

durch schnelle Rückorientierung der LC Moleküle beschleunigt werden. Ein Substrat der Beugungseinrichtung bzw. des Lichtmodulators könnte eine flächenförmige Elektrode aufweisen, welche von den im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden isolierend getrennt ist.

Dies wird an zwei Ausführungsbeispielen erläutert. Fig. 17 (a) zeigt in einer Aufsicht die streifenförmige Elektrodenanordnung, nämlich die Elektroden 26, auf dem ersten Substrat 28 sowie die Reibrichtung R des Oberflächen-Alignmentlayers und somit die Ausrichtung der LC Moleküle 70, wenn kein elektrisches Feld anliegt. Diese ist um einen kleinen Winkel φ – in diesem Beispiel 10 Grad – gegen die Senkrechte zu der Längsrichtung der Elektroden 26 geneigt. Hierdurch wird eine Drehrichtung der LC Moleküle 70 gegen den Uhrzeigersinn bei Anlegen eines Feldes vorgegeben.

Für die Phasenmodulation erfolgt die Drehung um einen möglichst großen Winkel, so dass die LC Moleküle 70 im starken Feld auch parallel zu denen auf dem ersten bzw. unteren Substrat 28 stehen können. Dieser Betriebszustand ist in Fig. 17 (b) gezeigt. Die Elektroden 72 auf dem zweiten (z.B. oberen) Substrat 30 sind so angeordnet, dass für diesen maximalen Winkel der LC Orientierung sie um einen kleinen Winkel – z. B. φ – gegen die Längsachse des LC geneigt sind. Wird ein Feld an den Elektroden 72 auf dem oberen Substrat 30 angelegt, so erfolgt eine schnelle Rückdrehung der LC Moleküle 70 in den in Fig. 17 (a) gezeigten Zustand. Insbesondere kann in diesem Fall das beschleunigte Ausschalten global oder beispielsweise auch zeilenweise in einem Lichtmodulator bzw. in einer Beugungseinrichtung erfolgen.

Die Elektroden 26 auf dem ersten Substrat 28 müssen bei einer Beugungseinrichtung individuell ansteuerbar oder bei einem Lichtmodulator pixeliert ansteuerbar sein, um ein gewünschtes Phasenprofil oder pixelierte Phasenwerte einzustellen. Die Elektroden 72 auf dem zweiten Substrat 30 können aber beispielsweise ein gemeinsames Steuersignal verwenden, das eine ganze Zeile eines Lichtmodulators oder die Beugungseinrichtung global in die gleiche Oberflächenorientierung der LC Moleküle zurückschaltet. Insbesondere verwendet eine Beugungseinrichtung in der Regel sehr fein strukturierte Elektroden 26 auf dem ersten Substrat 28, da mit kleinem Elektrodenpitch größere Beugungswinkel erreichbar sind. Die Elektroden 72 auf dem zweiten Substrat 30 können aber vorteilhaft gröber strukturiert sein, da sie keinen direkten Bezug zum Beugungswinkel aufweisen.

Insoweit weist die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden 26 des ersten Substrats 28 einen vorgebbaren (kleinen) Winkel φ zu der Vorzugsrichtung R des Oberflächen-Alignmentlayers auf. Die Ausrichtung der im Wesentlichen linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden 72 des zweiten Substrat 30 weist einen Winkel β zu der Ausrichtung der Elektroden 26 des ersten Substrat 28 auf, der beispielsweise $90 \text{ Grad} - \varphi$ sein kann.

Eine andere Option, die ein schnelles Rückdrehen der LC Moleküle 70 unterstützt, wäre ein kurzzeitiges Anlegen eines Out-of-Plane Feldes zwischen den Elektroden 26, 72 der beiden Substrate 28, 30, mit welchem die LC Moleküle 70 aus der Ebene heraus gedreht werden, aber dann schneller als bei einer reinen In-Plane Rückdrehung wieder in die Position der Oberflächenorientierung sich zurückbewegen.

Diese Anordnungen können auch mit einer schaltbaren Oberflächenorientierung, wie in der DE 10 2009 059 095.1 beschrieben, kombiniert werden, die verwendet wird, um einen größeren Drehwinkelbereich der LC Moleküle zu erreichen. Fig. 18 zeigt in einer Aufsicht ein Ausführungsbeispiel, bei welchem durch die Elektroden 26, 72 in Verbindung mit einem statischen Oberflächen-Alignmentlayer eine Vergrößerung des Drehwinkels der Ausrichtung der LC Moleküle 70 ermöglicht wird. Dies ist bevorzugt geeignet für einen Lichtmodulator und erfordert eine pixelweise Ansteuerung der Elektroden 26, 72 auf beiden Substraten 28, 30. Fig. 18 (a) zeigt in einer Aufsicht die Elektroden 26 auf dem ersten Substrat 28 und die Oberflächenorientierung R des statischen Oberflächen-Alignmentlayers, in diesem Fall wie in Fig. 17 (a). Fig. 18 (b) zeigt in einer Aufsicht die Elektroden 72 auf dem zweiten (oberen) Substrat 30. Durch das Anlegen eines elektrischen Feldes an den Elektroden 72 des zweiten Substrats 30 kann eine Änderung der Orientierung der LC Moleküle 70 erzielt werden, nämlich um einen Winkel ψ gegenüber der Senkrechten zu den Elektroden 26 des ersten Substrats 28. Diese sind dann so zu den Elektroden 26 auf dem ersten Substrat 28 angeordnet, dass in Fig. 18 (c) bei Anlegen eines elektrischen Feldes ein anderer Drehsinn – hier im Uhrzeigersinn – möglich ist. Das Einschalten erfolgt also, indem wahlweise eine Spannung auf dem zweiten Substrat 30 angelegt wird (wie mit dem unteren LC 70 in Fig. 18 (b) angedeutet) oder nicht (wie mit dem oberen LC 70 in Fig. 18 (b) angedeutet) und damit ein Drehsinn durch eine andere Vorausrichtung der LC Moleküle 70 ausgewählt wird. Anschließend erfolgt durch die Elektroden 26 auf dem ersten Substrat 28 die Feineinstellung des gesamten Drehwinkels der LC Moleküle 70. Das Ausschalten bzw. die Rückstellungen der LC Moleküle 70 kann zusätzlich, wie in Fig. 17 gezeigt, durch Anlegen eines elektrischen Feldes auf dem zweiten Substrat 30 beschleunigt werden. Auf diese Art kann eine Vergrößerung des einstellbaren Winkelbereiches der LC Orientierung ohne aktiven/veränderlichen Oberflächen-Alignmentlayer erreicht werden.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigen jeweils in einer schematischen Darstellung

Fig. 1 in einer Aufsicht ein erstes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 in einer Aufsicht ein zweites Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3 in einer schematischen Diagrammdarstellung ein Beispiel einer in die Beugungseinrichtung eingeschriebene Beugungsstruktur,

Fig. 4 in einer teilweisen Explosionsansicht ein erstes Ausführungsbeispiel eines Aufbaus einer Beugungseinrichtung,

Fig. 5 in einer Schnittansicht einen Teil der Beugungseinrichtung aus Fig. 4,

Fig. 6 in einer Schnittansicht einen Teil eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Beugungseinrichtung,

Fig. 7 in einer Schnittansicht einen Teil eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Beugungseinrichtung,

Fig. 8 bis 11 jeweils in einer Seitenansicht einen Teil eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Beugungseinrichtung und die hiermit einstellbare Phasenverzögerung,

Fig. 12 in einer schematischen Darstellung die Orientierung der Elektroden einer ersten und einer zweiten Beugungseinrichtung,

Fig. 13 bis 15 jeweils in einer Seitenansicht einen Teil einer Beugungseinrichtung, welche jeweils unterschiedlich angesteuert ist bzw. welche sich in unterschiedlichen Betriebszuständen befindet,

Fig. 16 in einem schematischen Diagramm einen Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit, mit welchen eine Elektrode der Beugungseinrichtung beaufschlagt werden kann,

Fig. 17 und 18 jeweils in einer Aufsicht eine Elektrodenanordnung eines Substrats,

Fig. 19 in einer Aufsicht eine weitere Elektrodenanordnung und

Fig. 20 bis 23 in einer Aufsicht jeweils ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In den Fig. sind gleiche oder ähnliche Bauteile mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet.

Fig. 1 zeigt eine Lichtmodulationsvorrichtung 10 für ein in den Fig. nicht gezeigtes Display zur Darstellung zwei- und/oder dreidimensionaler Bildinhalte. Die Lichtmodulationsvorrichtung 10 weist einen Lichtmodulator (12, SLM) und eine Steuereinrichtung 14 auf. Der Lichtmodulator 12 wird mit einem kollimierten Lichtwellenfeld 16 beleuchtet, welches durch die in Fig. 1 gezeigten Pfeile angedeutet ist. Die Phase und/oder die Amplitude des kollimierten Lichtwellenfelds 16 kann mit dem Lichtmodulator 12 in Abhängigkeit des Orts des Lichtmodulators 12 verändert werden. Hierzu weist der Lichtmodulator 12 einzelne (vergrößert dargestellte) Pixel 18 auf, welche matrixförmig angeordnet sind. Der Lichtmodulator 12 wird von der Steuereinrichtung 14 angesteuert. Erfindungsgemäß ist in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds 16 dem Lichtmodulator 12 mindestens eine ansteuerbare Beugungseinrichtung 20 nachgeordnet. Die Beugungseinrichtung 20 wird ebenfalls von der Steuereinrichtung 14 angesteuert, könnte jedoch von einer eigenen Steuereinheit angesteuert werden. In Abhängigkeit der Ansteuerung der Beugungseinrichtung 20 weist die Beugungseinrichtung 20 eine veränderbare Beugungsstruktur auf. Mit der Beugungsstruktur wird das vom Lichtmodulator 12 veränderte Lichtwellenfeld 16 in vorgebarere Weise veränderbar gebeugt.

In Fig. 3 ist in einer schematischen Diagrammdarstellung ein Beispiel einer in die Beugungseinrichtung 20 eingeschriebene Beugungsstruktur 22 gezeigt. Hierbei ist die dem Lichtwellenfeld 16 durch die Beugungseinrichtung 20 aufprägbare Phasenverzögerung als Funktion der Pixel bzw. des Orts in horizontaler Richtung / X-Richtung des Lichtmodulators 12 gezeigt. Die Beugungseinrichtung 20 ist derart ausgebildet, dass die mit der Beugungseinrichtung 20 einstellbare Beugungsstruktur 22 in der Periodizität veränderbar ist. Im Konkreten kann die Periodizität 24 der Beugungsstruktur 22 vergrößert oder verkleinert werden. Auch die Form der Beugungsstruktur 22 ist veränderbar. So kann z.B. eine Rechteckfunktion, eine Sägezahnfunktion, eine Sinusfunktion oder eine andere vorgebbare Funktion

durch diskrete Schritte oder kontinuierlich (in Abhängigkeit der konkreten konstruktiven Ausgestaltung der Beugungseinrichtung 20) angenähert oder exakt in die Beugungseinrichtung 20 eingeschrieben werden.

Fig. 4 zeigt in einer teilweisen Explosionsansicht ein Ausführungsbeispiel einer Beugungseinrichtung 20 mit im Wesentlichen linear ausgebildeten und im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden 26. Die Elektroden 26 sind an einem ersten Substrat 28 angeordnet und erstrecken sich im Wesentlichen über die gesamte Länge des Substrats 28. Am oberen Ende der Elektroden 26 bzw. des ersten Substrats 28 sind Kontaktierungen 29 für die Elektroden 26 vorgesehen, mit welchen die Elektroden 26 elektrisch kontaktiert werden können und von einer in Fig. 4 nicht gezeigten Steuereinrichtung mit elektrischer Spannung beaufschlagt werden können. Die Beugungseinrichtung 20 weist ein zweites Substrat 30 auf, welches von dem ersten Substrat 28 beabstandet angeordnet ist. Das zweite Substrat 30 weist eine flächenförmige Elektrode 32 auf.

Fig. 5 zeigt die Beugungseinrichtung 20 in einer Schnittansicht, wobei die Beugungseinrichtung 20 sich nach links und nach rechts bzw. zu beiden Seiten hin derart fortgesetzt zu denken ist, dass die Beugungseinrichtung 20 sich über die gesamte Breite des in Fig. 1 gezeigten Lichtmodulators 12 erstreckt. Die Breite B der streifenförmig ausgebildeten und am ersten Substrat 28 vorgesehenen Elektroden 26 beträgt bei diesem Ausführungsbeispiel $1,5 \mu\text{m}$. Die Breite des Zwischenraums G zwischen zwei benachbarten Elektroden 26 beträgt $0,5 \mu\text{m}$. Andere Werte für die Streifenbreite der Elektroden 26 und der Zwischenräume zwischen benachbarten Elektroden 26 sind möglich und hängen insbesondere von der Anwendung des Displays und der konkreten Ausgestaltung des Lichtmodulators 12 ab. Fig. 6 zeigt in einer Schnittansicht ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Beugungseinrichtung 20, wobei hier sowohl am ersten Substrat 28 als auch am zweiten Substrat 30 jeweils streifenförmig ausgebildete Elektroden 26 vorgesehen sind.

Fig. 7 zeigt in einer Schnittansicht ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Beugungseinrichtung 20, welche vom Aufbau im Wesentlichen vergleichbar zu der in Fig. 6 gezeigten Beugungseinrichtung 20 ausgebildet ist. Bei der in Fig. 7 gezeigten Beugungseinrichtung 20 sind die am oberen Substrat 28 angeordneten Elektroden 26 gegenüber den am unteren Substrat 28 angeordneten Elektroden 26 lateral gegeneinander versetzt angeordnet.

Zwischen dem ersten Substrat 28 und dem zweiten Substrat 30 der in Fig. 5 und 6 gezeigten Beugungseinrichtung 20 ist eine Schicht 34 mit Flüssigkristallen (Liquid Crystals = LC) vorgesehen. Die Flüssigkristalle sind in ihrer Ausrichtung dadurch beeinflussbar, dass an den Elektroden 26 eine vorgebbare elektrische Spannung angelegt wird. Mit dem Bezugszeichen 36 ist eine Isolationsschicht gekennzeichnet, mit welcher verhindert wird, dass die Flüssigkristalle mit den Elektroden 26 bzw. 32 in elektrischem Kontakt stehen.

Die Elektroden 26 bzw. 32 des ersten und zweiten Substrats 28, 30 sind für das verwendete Licht transparent ausgebildet. Gleiches gilt für das erste und das zweite Substrat 28, 30. Der Brechungsindex der Elektroden 26, 32 entspricht im Wesentlichen dem Brechungsindex des Substrats 28 bzw. 30. Der Brechungsindex der Elektroden 26, 32 entspricht darüber hinaus auch im Wesentlichen dem Brechungsindex der Isolationsschicht 36.

Fig. 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Lichtmodulationsvorrichtung 10, bei welcher in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds 16 der ersten Beugungseinrichtung 20 eine weitere Beugungseinrichtung 38 nachgeordnet ist. In der weiteren Beugungseinrichtung 38 ist eine Beugungsstruktur einer Periodizität einstellbar, welche eine Richtung Y oder Struktur aufweist, die sich von der Richtung X oder Struktur der Periodizität 24 einer eingestellten Beugungsstruktur 22 der dem Lichtmodulator 12 nachgeordneten (ersten) Beugungseinrichtung 20 unterscheidet. Im Konkreten sind die zwei Beugungseinrichtungen 20, 38 derart zueinander angeordnet, dass die Richtung X oder die Struktur der Periodizität 24 der Beugungsstruktur 22 der ersten Beugungseinrichtung 20 im Wesentlichen senkrecht zu der Richtung Y oder Struktur der Periodizität der Beugungsstruktur der weiteren Beugungseinrichtung 38 steht. Dementsprechend kann mit der ersten Beugungseinrichtung 20 eine Nachführung der Betrachteraugen eines Betrachters in horizontaler Richtung X erfolgen. Mit der zweiten Beugungseinrichtung 38 kann eine Nachführung der Betrachteraugen eines Betrachters in vertikaler Richtung Y erfolgen.

Die erste und die zweite Beugungseinrichtung 20, 38 weisen jeweils ein Substrat mit im Wesentlichen linear ausgebildeten und im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden 26 auf. Die zwei Beugungseinrichtungen 20, 38 sind derart zueinander angeordnet, dass die linear ausgebildeten Elektroden 26 der ersten Beugungseinrichtung 20 im Wesentlichen senkrecht zu den linear ausgebildeten Elektroden 26 der zweiten Beugungseinrichtung 38 ausgerichtet sind. Der Lichtmodulator 12 und die erste und die zweite Beugungseinrichtung 20, 38 werden von der Steuereinrichtung 14 angesteuert.

Der Lichtmodulator 12 und die Beugungseinrichtung 20 weisen eine periodische Struktur mit einer vorgebbaren Periodizität auf, wobei die Periodizität der Beugungseinrichtung 20 kleiner als die Periodizität des Lichtmodulators 12 ist. Im Konkreten beträgt die Periodizität der Beugungseinrichtung 20 in Abhängigkeit der Ansteuerung und der konkreten Ausgestaltung $2\ \mu\text{m}$. Die Periodizität des Lichtmodulators beträgt $50\ \mu\text{m}$ in horizontaler und in vertikaler Richtung. Um Moire-Effekte zu vermeiden, kann auch eine teilefremde Periode verwendet werden.

Die Elektroden 26 der Beugungseinrichtung 38 können als einzelne Beugungselemente aufgefasst werden, in welche – in Zusammenwirkung mit einem Teil der Flüssigkristallschicht 34 – diskrete oder kontinuierliche Werte durch das Anlegen vorgegebbarer elektrischer Spannungen einstellbar sind.

Bei den in den Fig. 1 und 2 gezeigten Displays ist eine Feldlinsenfunktion des Displays dadurch erzielbar, dass ein in Form eines Bragg-Gitters ausgebildetes fokussierendes optisches Bauteil 40 vorgesehen ist. Mit dem Bauteil werden die Lichtstrahlen des Lichtwellenfelds 16, die den Lichtmodulator 12 durchlaufen, in Richtung der zentralen Betrachterpositionen 42 fokussiert bzw. abgelenkt. Die zentralen Betrachterpositionen 42 sind symmetrisch zur mittleren Achse 44 der Lichtmodulationsvorrichtung 10 und in einem Abstand D vom Lichtmodulator 12 angeordnet. Die zentralen Betrachterpositionen 42 bestehen aus zwei Betrachterfenstern 46, 48. Mit der Beugungseinrichtung 20 ist es möglich, eine laterale Nachführung der Betrachterfenster 46, 48 an die aktuelle Position der Betrachteraugen 50, 52 dadurch zu gewährleisten, dass entsprechende Beugungsstrukturen 22 in die Beugungseinrichtung 20 eingeschrieben werden. Die nachgeführten Betrachterfenster sind mit den Bezugszeichen 46' und 48' gekennzeichnet.

Das Display, welches eine in den Fig. 1 oder 2 gezeigte Lichtmodulationsvorrichtung 10 aufweist und/oder welches nach einem der Ansprüche 1 bis 20 ausgestaltet ist, kann im Konkreten derart ausgestaltet sein, dass stereoskopische und/oder stereoskopische Multi-View-Bildinhalte und/oder holographische Bildinhalte darstellbar sind.

5 Fig. 11 zeigt in einer schematischen Seitenansicht ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Beugungseinrichtung 20, welche vom Aufbau im Wesentlichen vergleichbar zu der in Fig. 6 gezeigten Beugungseinrichtung 20 ausgebildet ist. Bei der in Fig. 11 gezeigten Beugungseinrichtung 20 sind drei Zwischenelektrodenschichten 56 vorgesehen. Jede Zwischenelektrodenschicht 56 weist mehrere Elektroden 58 auf, deren Breite, Abstand und Anordnung im Wesentlichen der Breite, Abstand und
10 Anordnung der Elektroden 26 entsprechen, welche an dem ersten Substrat 28 bzw. am zweiten Substrat 30 angeordnet sind. Zwischen dem ersten Substrat 28 und der hierzu benachbarten Zwischenelektrodenschicht 58 ist ein Material 62 angeordnet, welches eine Polyimidschicht aufweist. Die Polyimidschicht ist derart beschaffen, dass sie einerseits eine im Wesentlichen forminvariante Struktur aufweist und andererseits Zwischenräume (nicht eingezeichnet) aufweist, in welchen Flüssigkristalle
15 angeordnet sind. Durch das Anlegen von elektrischen Spannungen an den einzelnen Elektroden 26 bzw. 58 können die in der Polyimidschicht frei beweglichen Flüssigkristalle entsprechend der Feldverteilung des resultierenden elektrischen Felds ausgerichtet werden und dementsprechend das die Beugungseinrichtung 20 durchlaufende Licht beeinflussen. Zwischen den Zwischenelektrodenschichten 56 sowie zwischen dem zweiten Substrat 30 und der hierzu benachbarten Zwischenelektrodenschicht 56
20 ist jeweils ebenfalls das Material 62 angeordnet. Mit jeweils durchgezogenen Linien sind Isolationsschichten 64 angedeutet, welche bei dem Herstellungsprozess der erfindungsgemäßen Beugungseinrichtung 20 verhindern, dass das in einem Beschichtungsvorgang aufgebrauchte Elektrodenmaterial der Elektroden 58 in die Materialschicht 62 eindiffundiert.

Die Elektroden 58 der Zwischenelektrodenschichten 56 könnten in der jeweiligen
25 Zwischenelektrodenschicht 56 lateral versetzt zu den Elektroden 26 des ersten bzw. zweiten Substrats 28, 30 angeordnet sein. Auch ist es denkbar, die Breite und den jeweiligen Abstand der Elektroden 58 mindestens einer Zwischenelektrodenschicht 56 abweichend von der Breite bzw. dem Abstand der Elektroden 26 zu wählen.

Fig. 12 zeigt in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Ausrichtung der
30 Elektroden 26 einer ersten Beugungseinrichtung 20 gegenüber den Elektroden 26 einer zweiten Beugungseinrichtung 20'. Hierbei sind die Elektroden 26 der ersten Beugungseinrichtung 20 unter einem Winkel $\alpha = 55$ Grad gegenüber der Horizontalen 60 angeordnet. Die Elektroden 26 der zweiten Beugungseinrichtung 20' sind unter einem Winkel $\alpha + 90$ Grad = 145 Grad gegenüber der Horizontalen 60 angeordnet. Dementsprechend sind die Elektroden 26 der ersten Beugungseinrichtung 20 senkrecht
35 zu den Elektroden 26 der zweiten Beugungseinrichtung 20' ausgerichtet. Bei einer solchen Anordnung der Elektroden 26 an den jeweiligen Substraten der Beugungseinrichtungen 20, 20' können die Elektroden 26 an allen vier Seiten des jeweiligen Substrats kontaktiert werden.

Die Fig. 13 bis 15 zeigen jeweils einen Teil einer Beugungseinrichtung 20. Die in Fig. 13 gezeigte Beugungseinrichtung 20 befindet sich in einem für die Darstellung von Bildinhalten inaktiven Zustand, in

welchem die elektrischen Feldlinien 66 in einem mittleren Bereich zwischen den zwei Substraten im Wesentlichen parallel zu der Oberfläche der Substrate ausgerichtet ist. Dies geschieht in diesem Ausführungsbeispiel dadurch, dass jeweils benachbarte Elektroden eines Substrats mit jeweils elektrischen Spannungen unterschiedlichen Vorzeichens (mit + oder – angedeutet) beaufschlagt werden, so dass die elektrischen Feldlinien 66 von einer positiv geladenen Elektrode 26 zu den beiden benachbarten negativ geladenen Elektroden 26 – und nicht zu der gegenüberliegenden angeordneten Elektrode 26 des anderen Substrats – verlaufen. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise das zwischen den zwei Substraten angeordnete Material (nicht gezeigt) sehr schnell in einen definierten neutralen Zustand überführt werden, aus welchem das Material wieder in einen aktiven Zustand verbracht wird, in welchem eine andere Beugungsstruktur realisiert wird.

Alternativ zu der in Fig. 13 gezeigten Beschaltung der Elektroden könnte auch eine in Fig. 14 gezeigte Beschaltung der Elektroden vorgesehen sein, gemäß welcher die Elektroden der beiden Substrate mit einem im Wesentlichen keilförmigen Spannungsverlauf beaufschlagt werden. Sowohl die Elektroden des ersten als auch die Elektroden des zweiten Substrats werden hierbei mit elektrischer Spannung derselben Polarität beaufschlagt. Dies könnte dadurch realisiert werden, dass an der ganz links eingezeichneten Elektrode eine vorgebbare Spannung (angedeutet durch „1+“) angelegt wird und an die hierzu rechts benachbarten Elektroden jeweils eine geringfügige höhere vorgebbare weitere Spannung (angedeutet durch „2+“, „...“, „16+“) angelegt wird. Insoweit ergibt sich hierbei eine elektrische Feldverteilung, welche im rechten Bereich der Beugungsvorrichtung 20 zwischen den zwei Substraten am stärksten ausgebildet ist und welche im Wesentlichen keilförmig nach links abfällt. Diese ist durch die Dicke der elektrischen Feldlinien 66 in Fig. 14 angedeutet. Es wird darauf hingewiesen, dass die in den Fig. 13 bis 15 eingezeichneten Feldlinien 66 lediglich schematisch angedeutet sind. Bei den gegebenen bzw. bei anderen Beschaltungen der Elektroden können sich für die tatsächlichen elektrischen Feldlinien abweichende Konfigurationen ergeben.

In Fig. 15 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Beschaltung der Elektroden 26 der Beugungseinrichtung 20 in einem für die Bilddarstellung inaktiven Zustand gezeigt. Hierbei werden bereits bei dem Einstellen einer im Wesentlichen homogenen Brechungsindexverteilung die Elektroden 26 der Beugungseinrichtung 20 derart beschaltet, dass sich eine elektrische Feldverteilung ergibt, welche die als Nächstes zu erzeugende Brechungsindexverteilung $\varphi(x)$ (gepunktet dargestellt) vorbereitet. Dies wird dadurch erzielt, dass an Stellen 68, an welchen ein großer Brechungsindexunterschied bzw. ein Phasensprung erfolgen soll, die dort angeordneten Elektroden 26 jeweils mit einer vorgebbaren positiven Spannung beaufschlagt werden, so dass an diesen Stellen – schon in dem inaktiven Zustand – eine entsprechende Brechungsindexverteilung vorbereitet wird. Die übrigen Elektroden 26 werden mit einer vorgebbaren negativen Spannung beaufschlagt. Hierdurch kann für den nächsten aktiven Zustand eine vorgebbare Beugungsstruktur bzw. Brechungsindexverteilung sehr schnell eingestellt werden, wodurch eine hohe Bildwiederholrate möglich ist.

Fig. 16 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Spannungsverlaufs in Abhängigkeit der Zeit, mit welchem eine Elektrode 26 der Beugungseinrichtung 20 beaufschlagt werden kann. Demgemäß wird mindestens eine Elektroden 26 der Beugungseinrichtung 20 im zeitlichen Verlauf jeweils mit einer zunächst erhöhten

elektrischen Spannung U_0 beaufschlagt, als dies zum Einstellen der zu erzeugenden Brechungsindexverteilung zunächst erforderlich ist. Die elektrische Spannung wird danach jeweils auf einen Wert U_s eingestellt, welche zum Einstellen der zu erzeugenden Brechungsindexverteilung erforderlich ist. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise eine andere Beugungsstruktur ebenfalls sehr
5 schnell eingestellt werden.

Figur 20 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Lichtmodulator 12, der (vergrößert eingezeichnete) Pixel 181 mit roten Farbfiltern, Pixel 182 mit grünen Farbfiltern und Pixel 183 mit blauen Farbfiltern aufweist.

Figur 20 A zeigt, dass zu einem Zeitpunkt (bzw. für ein Zeitintervall t_1) der Lichtmodulator 12 mit einem
10 Lichtwellenfeld 161 einer roten Wellenlänge beaufschlagt wird, zum Beispiel mit Laserlicht mit einer Wellenlänge von 635 nm.

Die Pixel 181 des Lichtmodulators 12 mit rotem Farbfilter modulieren dieses Licht gemäß der in diese Pixel 181 eingeschriebenen Information. Die Pixel 182, 183 mit grünem oder blauem Farbfilter blockieren dieses Licht aufgrund ihrer Farbfilter, unabhängig von der in diese Pixel 182, 183 eingeschriebenen
15 Information.

In die Beugungseinrichtung 20 ist mittels der Steuereinrichtung 14 eine Beugungsstruktur eingeschrieben, die das Licht der roten Wellenlänge beugt und hierdurch in Richtung eines Betrachters
50 lenkt.

Figur 20 B zeigt, dass zu einem Zeitpunkt (bzw. für ein anderes Zeitintervall t_2) der Lichtmodulator 12 mit
20 einem anderen Lichtwellenfeld 162 beaufschlagt wird, nämlich mit Licht einer grünen Wellenlänge. Die Pixel 182 des Lichtmodulators 12 mit grünem Farbfilter modulieren dieses Licht gemäß der in diese Pixel eingeschriebenen Information. Die Pixel 181 und 183 mit rotem oder blauem Farbfilter blockieren dieses Licht. In die Beugungseinrichtung 20 ist mittels der Steuereinrichtung 14 eine andere Beugungsstruktur eingeschrieben, die das Licht der grünen Wellenlänge beugt und in dieselbe Richtung des Betrachters 50
25 lenkt.

Zu einem dritten Zeitpunkt (bzw. für ein drittes Zeitintervall t_3 , in Fig. 20 nicht gezeigt) wird entsprechend der Lichtmodulator 12 mit einem dritten Lichtwellenfeld einer blauen Wellenlänge beaufschlagt. Die Pixel 183 des Lichtmodulators 12 mit blauem Farbfilter modulieren dieses Licht gemäß der in diese Pixel eingeschriebenen Information. Die Pixel 181 und 182 mit rotem oder grünem Farbfilter blockieren dieses
30 Licht. In die Beugungseinrichtung ist mittels der Steuereinrichtung 14 eine wiederum andere Beugungsstruktur eingeschrieben, die das Licht der blauen Wellenlänge beugt und in dieselbe Richtung des Betrachters 50 lenkt. Insoweit zeigt also Figur 20 ein Ausführungsbeispiel mit einem Lichtmodulator 12 mit Farbfiltern 181, 182, 183 mit einer zeitsequentiellen Beleuchtung. Die in Lichtausbreitungsrichtung dem Lichtmodulator 12 nachgeordnete Beugungseinrichtung 20 wird hierbei so angesteuert, dass darin
35 jeweils eine Beugungsstruktur eingeschrieben ist, welche auf die jeweilige Beleuchtungssituation – also für das Licht mit der jeweiligen Wellenlänge – angepasst ist.

Figur 21 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei welchem der Lichtmodulator 12 mit einer geringeren Bildwiederholrate und die Beugungseinrichtung 20 mit einer im Vergleich zum Lichtmodulator 12 größeren Framerate durch die Steuereinrichtung 14 angesteuert wird. Die gleiche, im Lichtmodulator 12 eingeschriebene Information wird mittels der Beugungseinrichtung 20 und der Feldlinse 40 nacheinander zu dem linken oder rechten Betrachterauge (z.B. 50', 50'') mehrerer Betrachter gebeugt. In die Pixel 18 des Lichtmodulators 12 ist mittels der Steuereinrichtung 14 eine Information eingeschrieben, beispielsweise ein 3D Stereobild oder ein Hologramm. Zwei Betrachter mit linken Betrachteraugen 50' und 50'' sowie rechten Betrachteraugen 52' und 52'' befinden sich in unterschiedlichen Positionen vor der Beugungseinrichtung 20 und dem Lichtmodulator 12. Der Lichtmodulator 12 wird mit einem Lichtwellenfeld 16 beaufschlagt.

Figur 21 A zeigt, dass zu einem Zeitpunkt (bzw. für ein Zeitintervall t_1) in die Beugungseinrichtung 20 mittels der Steuereinrichtung 14 eine Beugungsstruktur eingeschrieben ist, die dieses Licht beugt und es hierdurch in Richtung des linken Betrachterauges 50' des ersten Betrachters lenkt.

Figur 21 B zeigt, dass zu einem anderen Zeitpunkt (bzw. für ein anderes Zeitintervall t_2), während in dem Lichtmodulator 12 die gleiche Information eingeschrieben bleibt, mittels der Steuereinrichtung 14 in die Beugungseinrichtung 20 eine andere Beugungsstruktur eingeschrieben ist, die das Licht beugt und es zum linken Betrachterauge 50'' des zweiten Betrachters lenkt.

In Figur 21 ist nicht gezeigt, dass in weiteren Zeitintervallen t_3 und t_4 , wenn in den Lichtmodulator 12 eine Information für ein rechtes Betrachterauge eingeschrieben ist, diese entsprechend durch zeitlich sequenzielles Einschreiben von zwei unterschiedlichen Beugungsstrukturen in die Beugungseinrichtung 20 nacheinander gebeugt und zu den rechten Betrachteraugen 52' und 52'' der beiden Betrachter gelenkt werden kann.

Die Position der Betrachteraugen 50', 50'', 52', 52'' relativ zum Lichtmodulator 12 können zum Beispiel mit einem Positionserfassungssystem detektiert werden. Das Positionserfassungssystem kann derart ausgebildet sein, dass es auch die Information liefert, wie viele Betrachter sich im Nachführungsbereich der Beugungseinrichtung 20 aufhalten. Die Bildwiederholrate, mit der eine Information in den Lichtmodulator 12 eingeschrieben wird, ist in diesem Ausführungsbeispiel unabhängig von der Anzahl der detektierten Betrachter. Die Bildwiederholrate mit der von der Steuereinrichtung 14 eine Beugungsstruktur in die Beugungseinrichtung 20 eingeschrieben wird, kann bis zu einer vorgebbaren Obergrenze an die Anzahl der aktuell detektierten Betrachter angepasst werden, wobei die Obergrenze von den Eigenschaften der Beugungseinrichtung 20 und nicht von den Eigenschaften des Lichtmodulators 12 abhängen.

Figur 21 zeigt ein System mit einer einzelnen Beugungseinrichtung 20. Diese Anordnung kann in analoger Weise auch für die Kombinationen mehrerer Beugungseinrichtungen ausgestaltet werden, zum Beispiel für zwei gekreuzte Beugungseinrichtungen (in Figur 21 nicht gezeigt), von denen eine Beugungseinrichtung Licht in einem Zeitintervall t_1 zur horizontalen und die andere Beugungseinrichtung zur vertikalen Position eines linken Betrachterauges beugt. Der Einsatz nur einer Beugungseinrichtung ist

aber in einem System ausreichend, in dem beispielsweise ein vertikal streuendes Mittel enthalten ist und eine Nachführung der Betrachterposition daher nur in horizontaler Richtung erfolgen muss.

In der Figur 21 ist ein Beispiel gezeigt, in welchem sich beide Betrachter im Wesentlichen in der gleichen Entfernung D zum Lichtmodulator 12 befinden. Indem aber in die Beugungseinrichtung 20 eine Beugungsstruktur eingeschrieben wird, die nicht nur ablenkende, sondern auch fokussierende Anteile enthält, kann beispielsweise die Brennweite der Kombination von der Feldlinse 40 und der Beugungseinrichtung 20 verändert werden. Auf diese Weise kann auch nacheinander Licht zu Betrachteraugen gelenkt werden, welche sich in unterschiedlichen Entfernungen zum Lichtmodulator 12 befinden (in Figur 21 nicht gezeigt).

Figur 22 zeigt in einem weiteren Ausführungsbeispiel einen Lichtmodulator 12 und eine Beugungseinrichtung 20 mit zwei Betrachtern mit linken Betrachteraugen $50'$ und $50''$. Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 21 wird hier in einem Zeitintervall t die in den Lichtmodulator 12 eingeschriebene Information mittels der Beugungseinrichtung 20 so gebeugt, dass sie im Wesentlichen gleichzeitig zu den linken Betrachteraugen $50'$ und $50''$ beider Betrachter gelenkt wird. Zu diesem Zweck sind jedem Pixel 18 des Lichtmodulators 12 zwei unterschiedliche räumliche Bereiche der Beugungseinrichtung 20 zugeordnet, welche z.B. in vertikaler Richtung jeweils die halbe Breite eines Pixels aufweisen. In den einen Bereich der Beugungseinrichtung 20 wird eine Beugungsstruktur eingeschrieben, die Licht zum Betrachterauge $50'$ eines Betrachters ablenkt. In den zweiten Bereich der Beugungseinrichtung 20 wird eine Beugungsstruktur eingeschrieben, die Licht zum Betrachterauge $50''$ des anderen Betrachters lenkt. In diesem Ausführungsbeispiel wird also im Lichtmodulator 12 in einem Zeitintervall insgesamt Information nur für das linke oder für das rechte Betrachterauge eingeschrieben und in der Beugungseinrichtung 20 findet ein räumliches Multiplexing bezüglich der Ablenkrichtung zu den linken oder zu den rechten Betrachteraugen $50'$, $50''$ der zwei Betrachter statt. Falls mehrere Betrachter – nämlich N Betrachter – von einem Positionserfassungssystem detektiert werden, können in diesem Fall N unterschiedliche räumliche Bereiche der Beugungseinrichtung 20 jeweils einem Pixel 18 des Lichtmodulators 12 zugeordnet werden. Dann lenkt jeder einzelne der N räumlichen Bereiche der Beugungseinrichtung 20 Licht zu einem linken oder rechten Betrachterauge der N Betrachter.

Figur 23 zeigt in einem weiteren Ausführungsbeispiel einen Lichtmodulator 12 und eine Beugungseinrichtung 20 mit einem Betrachter mit linkem Betrachterauge $50'$ und rechtem Betrachterauge $52'$. In bestimmten Pixeln 184 des Lichtmodulators 12 ist die Information für das rechte Betrachterauge $52'$ und in anderen Pixeln 185 ist die Information für das linke Betrachterauge $50'$ eingeschrieben. In der Beugungseinrichtung 20 sind diesen Pixeln 184, 185 jeweils räumliche Bereiche der Beugungseinrichtung 20 zugeordnet, in die unterschiedliche Beugungsstrukturen eingeschrieben werden, die das Licht so beugen, dass es an das jeweilige Betrachterauge $50'$ bzw. $52'$ gelenkt wird. In diesem Ausführungsbeispiel wird also in einem Zeitintervall Information für beide Betrachteraugen in den Lichtmodulator 12 eingeschrieben. Sowohl im Lichtmodulator 12 als auch in der Beugungseinrichtung 20 erfolgt ein räumliches Multiplexing bezüglich der Ablenkrichtung zu den linken Betrachteraugen $50'$, $50''$.

Abschließend sei ganz besonders darauf hingewiesen, dass die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele lediglich zur Beschreibung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Patentansprüche

1. Lichtmodulationsvorrichtung für ein Display zur Darstellung zwei- und/oder dreidimensionaler Bildinhalte, mit einem Lichtmodulator (12, SLM) und einer Steuereinrichtung (14), wobei die Phase und/oder die Amplitude eines im Wesentlichen kollimierten Lichtwellenfelds (16) mit dem Lichtmodulator (12) in Abhängigkeit vom Ort auf dem Lichtmodulator (12) veränderbar ist, wobei der Lichtmodulator (12) mit der Steuereinrichtung (14) ansteuerbar ist, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds (16) dem Lichtmodulator (12) mindestens eine ansteuerbare Beugungseinrichtung (20, 38) nachgeordnet ist, welche in Abhängigkeit der Ansteuerung der Beugungseinrichtung (20) eine veränderbare Beugungsstruktur (22) aufweist, und dass mit der Beugungsstruktur (22) das vom Lichtmodulator (12) veränderte Lichtwellenfeld in vorgebbarer Weise veränderbar beugbar ist.
2. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beugungseinrichtung (20) derart ausgebildet ist, dass mit ihr eine vorgebbare gitterförmige oder sägezahnförmige Beugungsstruktur (22) einstellbar ist, welche sich lediglich in eine vorgebbare Richtung (X) erstreckt.
3. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Beugungseinrichtung (20) derart ausgebildet ist, dass die mit der Beugungseinrichtung (20) einstellbare Beugungsstruktur (22) in der Periodizität (24) veränderbar ist.
4. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Beugungseinrichtung (20) im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden (26) aufweist, welche an einem ersten Substrat (28) angeordnet sind.
5. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat (28, 30) der Beugungseinrichtung (20) eine flächenförmige Elektrode (32) aufweist, welche von den im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden (26) isolierend getrennt ist.
6. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Beugungseinrichtung (20) ein zweites Substrat (30) aufweist, welches von dem ersten Substrat (28) beabstandet angeordnet ist, und dass das zweite Substrat (30) eine flächenförmige Elektrode (32) und/oder mehrere im Wesentlichen linear ausgebildete und im Wesentlichen parallel zueinander angeordnete Elektroden (26) aufweist.
7. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (26, 32) des ersten und/oder zweiten Substrats (28, 30) für das verwendete Licht transparent ausgebildet sind und/oder dass das erste und/oder das zweite Substrat (28, 30) für das verwendete Licht transparent ausgebildet ist.

8. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass an mindestens einem Substrat Elektroden (26, 32) in mindestens zwei unterschiedlichen und zu einer Oberfläche des Substrats parallelen Ebenen angeordnet sind und dass die in den unterschiedlichen Ebenen angeordneten Elektroden (26, 54) lateral zueinander versetzt sind.
- 5 9. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen zwei Substraten (28, 30) mindestens eine Zwischenelektrodenschicht (56) – vorzugsweise vier Zwischenelektrodenschichten – vorgesehen ist bzw. sind und dass die Zwischenelektrodenschicht (56) Elektroden (58) aufweist.
- 10 10. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (58) der Zwischenelektrodenschicht (56) im Wesentlichen linear ausgebildet, im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet und in einer vorgebbaren Richtung ausgerichtet sind.
- 15 11. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen einem Substrat (28) und einer benachbarten Zwischenelektrodenschicht (56) und/oder zwischen zwei benachbarten Zwischenelektrodenschichten (56) vorgebbar ist und vorzugsweise einem Bruchteil des Abstands zweier benachbarter Elektroden (26; 56) oder der Gitterperiode der Elektroden (26; 56) des Substrats (28) oder der Zwischenelektrodenschicht (56) entspricht, beispielsweise 1/2 oder weniger.
- 20 12. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26, 32) des ersten und/oder zweiten Substrats (28, 30) und/oder einer Zwischenelektrodenschicht (56) in einer vorgebbaren Richtung ausgerichtet sind.
- 25 13. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26) des ersten Substrats (28) zu der Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26, 72) des zweiten Substrats (30) einen vorgebbaren Winkel (β) aufweisen, welcher in einem Bereich zwischen 0 und 90 Grad, vorzugsweise 0 Grad, liegt.
- 30 14. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26, 72) eines Substrats (28, 30) zu der Ausrichtung der linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (58) einer Zwischenelektrodenschicht (56) einen vorgebbaren Winkel aufweisen, welcher in einem Bereich zwischen 0 und 90 Grad, vorzugsweise 0 Grad, liegt.
- 35 15. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Elektroden eines Substrats oder einer Zwischenelektrodenschicht zu einem Segment zusammengefasst sind, welche gemeinsamen ansteuerbar – insbesondere abschaltbar – sind, und dass mehrere Segmente vorgesehen sein könnten.

16. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26, 32) des ersten und/oder zweiten Substrats (28, 30) und/oder einer Zwischenelektrodenschicht (56) im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet sind.
- 5 17. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Brechungsindex der Elektroden (26, 32) im Wesentlichen dem Brechungsindex des Substrats (28, 30) entspricht oder dass das Elektrodenmaterial und das Substratmaterial derart ausgestaltet sind, dass diese im Wesentlichen denselben Brechungsindex aufweisen.
- 10 18. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat (28, 30) und/oder zwischen einem Substrat (28) und einer benachbarten Zwischenelektrodenschicht (56) und/oder zwischen zwei benachbarten Zwischenelektrodenschichten (56) ein Material angeordnet ist, mit welchem lokale Änderungen des Brechungsindexes für mindestens eine Polarisationsrichtung des Lichts durch Einstellen einer das Material beeinflussenden Steuergröße erzielbar ist.
- 15 19. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Material Flüssigkristalle oder dass das Material eine Polymerschicht – insbesondere eine Polyimidschicht – mit Flüssigkristallen oder mit länglich ausgebildeten Nano-Partikeln, beispielsweise Carbo Nano Tubes, oder dass das Material eine flexible oder zähflüssige Schicht mit länglich ausgebildeten Nano-Partikeln aufweist.
- 20 20. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat (28, 30) und/oder zwischen einem Substrat (28) und einer benachbarten Zwischenelektrodenschicht (56) und/oder zwischen zwei benachbarten Zwischenelektrodenschichten (56) Flüssigkristalle (34) angeordnet sind, welche in ihrer Ausrichtung dadurch beeinflussbar sind, dass an den Elektroden (26, 32) eine vorgebbare elektrische Spannung angelegt wird, und dass Mittel vorgesehen sein könnten, mit welchen eine Vorausrichtung der Flüssigkristalle in eine Richtung parallel zur linearen Richtung der Elektroden vorgebbar ist.
- 25 21. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden der Beugungseinrichtung (20) derart beschaltet werden, dass sich eine elektrische Feldverteilung in der Beugungseinrichtung (20) einstellt, mit welcher sich zumindest
- 30 bereichsweise eine sägezahnförmige Brechungsindexverteilung mit einer vorgebbaren Periodizität ergibt.
22. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden der Beugungseinrichtung (20) derart beschaltet werden, dass sich eine elektrische Feldverteilung in der Beugungseinrichtung (20) einstellt, mit welcher sich eine im
- 35 Wesentlichen homogene Brechungsindexverteilung ergibt.

23. Lichtmodulationsvorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass zum Einstellen einer im Wesentlichen homogenen Brechungsindexverteilung die Elektroden der Beugungseinrichtung (20) derart beschalten werden, dass sich eine elektrische Feldverteilung ergibt, welche die als Nächstes zu erzeugende Brechungsindexverteilung vorbereitet.

5 24. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden der Beugungseinrichtung (20) im zeitlichen Verlauf jeweils mit einer zunächst erhöhten elektrischen Spannung beaufschlagt werden, als dies zum Einstellen der zu erzeugenden Brechungsindexverteilung erforderlich ist, und dass die elektrische Spannung danach jeweils auf Werte eingestellt wird, welche zum Einstellen der zu erzeugenden Brechungsindexverteilung
10 erforderlich ist.

25. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass den einzelnen Pixeln des Lichtmodulators Farbfilter zugeordnet sind, dass die Pixel des Lichtmodulators mit Informationen beschrieben werden, dass der Lichtmodulator mit Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen zeitsequenziell beaufschlagt wird und dass die
15 Beugungseinrichtung synchron zur jeweiligen Beleuchtungssituation angesteuert wird.

26. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass in Ausbreitungsrichtung des Lichtwellenfelds (16) der Beugungseinrichtung (20) eine weitere Beugungseinrichtung (38) nachgeordnet ist, dass in der weiteren Beugungseinrichtung (38) eine Beugungsstruktur einer Periodizität einstellbar ist, welche eine vorgebbare Richtung (Y) oder
20 Struktur aufweist, die sich von der vorgebbaren Richtung (X) oder Struktur der Periodizität (24) einer eingestellten Beugungsstruktur (22) der dem Lichtmodulator (12) nachgeordneten Beugungseinrichtung (20) unterscheidet.

27. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Beugungseinrichtungen (20, 38) derart zueinander angeordnet sind, dass die
25 vorgebbare Richtung (X) oder die Struktur der Periodizität (24) der Beugungsstruktur (22) der Beugungseinrichtung (20) im Wesentlichen senkrecht zu der vorgebbaren Richtung (Y) oder Struktur der Periodizität der Beugungsstruktur der weiteren Beugungseinrichtung (38) steht.

28. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Beugungseinrichtung (20, 38) jeweils ein Substrat (28) mit im
30 Wesentlichen linear ausgebildeten, im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten und in einer vorgebbaren Richtung ausgerichteten Elektroden (26) aufweist und dass die zwei Beugungseinrichtungen (20, 38) derart zueinander angeordnet sind, dass die linear ausgebildeten Elektroden (26) der ersten Beugungseinrichtung (20) im Wesentlichen senkrecht zu den linear ausgebildeten Elektroden (26) der zweiten Beugungseinrichtung (38) ausgerichtet sind.

35 29. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die im Wesentlichen linear ausgebildeten und im Wesentlichen parallel zueinander angeordneten Elektroden (26) in einem Winkel (α) relativ zur Horizontalen (60) derart ausgerichtet

sind, dass sich eine Lichtverteilung des an der Beugungseinrichtung (20) gebeugten Lichts in einer Betrachterebene ergibt, welche ein Auftreten von Lichtintensitäten in Betrachteraugen, die benachbart zu Betrachteraugen mit einem Sichtbarkeitsbereich liegen, weitgehend unterdrückt werden.

5 30. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtmodulator (12) und/oder die Beugungseinrichtung (20, 38) eine periodische Struktur mit einer vorgebbaren Periodizität aufweist.

31. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtmodulator (12) und die Beugungseinrichtung (20, 38) eine periodische Struktur mit
10 einer vorgebbaren Periodizität aufweisen und dass die Periodizität der Beugungseinrichtung (20, 38) kleiner als die Periodizität des Lichtmodulators (12) ist, beispielsweise um einen Faktor der einen Wert aufweist, der in einem Bereich zwischen 2 und 150 liegt.

32. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Beugungseinrichtung (20, 38) einzelne Beugungselemente aufweist, in welche diskrete
15 oder kontinuierliche Werte einstellbar sind.

33. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass eine Feldlinsenfunktion des Displays dadurch erzielbar ist, dass vorgebbare Phasenterme in die Beugungseinrichtung (20, 38) eingeschrieben werden und/oder dass ein fokussierendes optisches Bauteil (40) vorgesehen ist, beispielsweise ein Bragg Gitter vorgebbarer Eigenschaft.

20 34. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 33, gekennzeichnet durch eine Temperaturkompensation, welche eine aktive Temperaturregelung mit mindestens einem Temperatursensor und mindestens einem thermodynamischen Element – beispielsweise ein Peltier-Element – aufweist und/oder welche durch das Einschreiben eines vorgebbaren Phasenverlaufs in den Lichtmodulator (12) realisierbar ist.

25 35. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtmodulator (12) und die Beugungseinrichtung (20, 38) zeitsequentiell mit Licht unterschiedlicher Wellenlänge beleuchtbar ist, dass synchron hierzu eine auf die aktuell verwendete Wellenlänge des Lichts abgestimmte Beugungsstruktur (22) in der Beugungseinrichtung (20, 38) einschreibbar ist, wodurch mit der abgestimmten Beugungsstruktur
30 (22) ein vorgebbarer Ablenkwinkel für Licht unterschiedlicher Wellenlängen einstellbar ist.

36. Lichtmodulationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Beugungseinrichtung (20) benachbart zum Lichtmodulator angeordnet ist und/oder dass eine gegebenenfalls vorgesehene weitere Beugungseinrichtung (38) benachbart zur ersten Beugungseinrichtung (20) angeordnet ist.

37. Display gekennzeichnet durch eine Lichtmodulationsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 36, wobei das Display derart ausgestaltet ist, dass stereoskopische und/oder stereoskopische Multi-View-Bildinhalte und/oder holographische Bildinhalte darstellbar sind.

38. Display nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass eine ansteuerbare optische Einrichtung vorgesehen ist, welche in einem Betriebszustand optisch im Wesentlichen transparent und in einem anderen Betriebszustand optisch streuend wirkt, und dass durch Ansteuerung der optischen Einrichtung das Display in einem 3D-Modus oder in einem 2D-Modus betreibbar ist.

39. Display nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass zum Betreiben des Displays in einem 3D-Modus mit der Beugungseinrichtung (20) in einem ersten Betriebsmodus eine Betrachternachführung realisierbar ist und dass zum Betreiben des Displays in einem 2D-Modus in einem zweiten Betriebsmodus die Beugungseinrichtung (20) derart ansteuerbar ist, dass sie eine streuende Funktion aufweist.

40. Display nach einem der Ansprüche 36 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass zur Darstellung farbiger Bildinhalte der Lichtmodulator (12) und die Beugungseinrichtung (20, 38) zeitlich sequenziell mit Licht (161, 162) unterschiedlicher Wellenlängen beaufschlagbar ist und dass die Beugungseinrichtung (20, 38) synchron zur jeweiligen Beleuchtungssituation einstellbar ist.

41. Display nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtmodulator (12) derart mit der Steuereinrichtung (14) ansteuerbar ist, dass in den Lichtmodulator (12) Informationen für ein linkes oder rechtes Auge eingeschrieben wird, dass mit der Beugungseinrichtung (20, 38) das vom Lichtmodulator (12) für das linke bzw. rechte Auge veränderte Lichtwellenfeld jeweils in das linke oder rechte Auge von mindestens einem Betrachter ablenkbar ist und dass die Informationen für das linke oder das rechte Auge zeitlich sequenziell in den Lichtmodulator (12) eingeschrieben werden.

42. Display nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtmodulator (12) erste und zweite Bereiche aufweist, welche jeweils mit Informationen für ein linkes und ein rechtes Auge beschreibbar sind, dass den ersten und zweiten Bereichen des Lichtmodulators (12) jeweils erste und zweite Bereiche der Beugungseinrichtung (20, 38) zugeordnet sind, dass der Lichtmodulator (12) und die Beugungseinrichtung (20, 38) derart ansteuerbar sind, dass das von den ersten Bereichen des Lichtmodulators (12) veränderte Lichtwellenfeld von den ersten Bereichen der Beugungseinrichtung (20, 38) zu einem linken Auge mindestens eines Betrachters gelenkt wird und dass das von den zweiten Bereichen des Lichtmodulators (12) veränderte Lichtwellenfeld von den zweiten Bereichen der Beugungseinrichtung (20, 38) zu einem rechten Auge des mindestens einen Betrachters gelenkt wird.

43. Display nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten und zweiten Bereiche des Lichtmodulators (12) alternierend zueinander und wiederholt angeordnet sind und/oder dass die ersten und zweiten Bereiche des Lichtmodulators (12) vertikal ausgerichtet sind.

44. Display nach einem der Ansprüche 39 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass den einzelnen Pixeln (181, 182, 183) des Lichtmodulators (12) Farbfilter zugeordnet sind, und/oder das einzelnen Bereichen der Beugungseinrichtung (20, 38) Farbfilter zugeordnet sind.

5 45. Display nach einem der Ansprüche 39 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass dem Lichtmodulator (12) eine Beugungseinrichtung (20) für eine im Wesentlichen horizontale Strahlablenkung nachgeordnet ist und dass ein Mittel vorgesehen ist, mit welchem eine Aufweitung eines Beleuchtungsbereichs in vertikaler Richtung erfolgt.

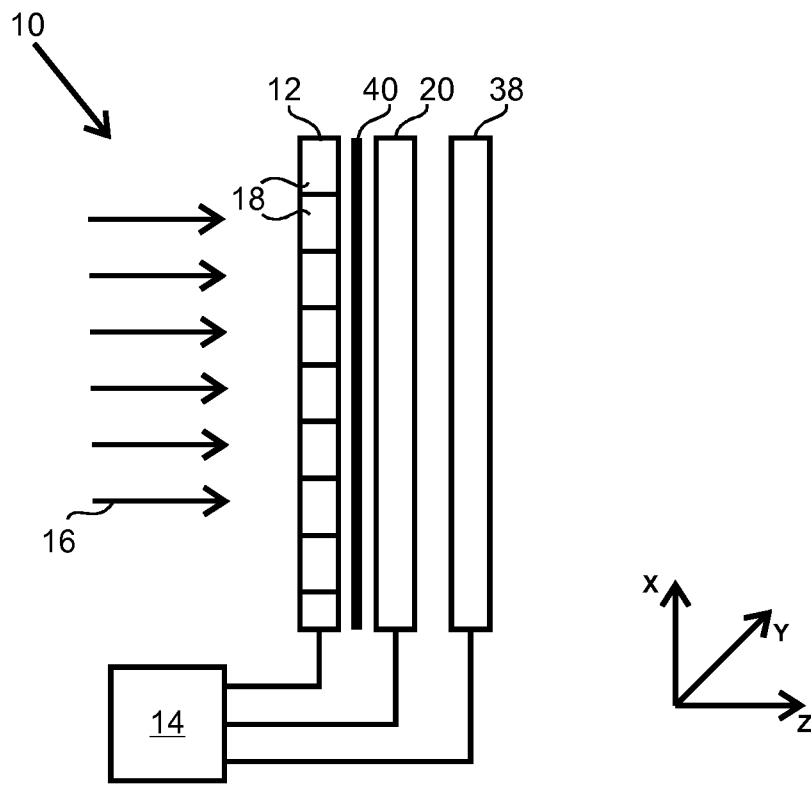
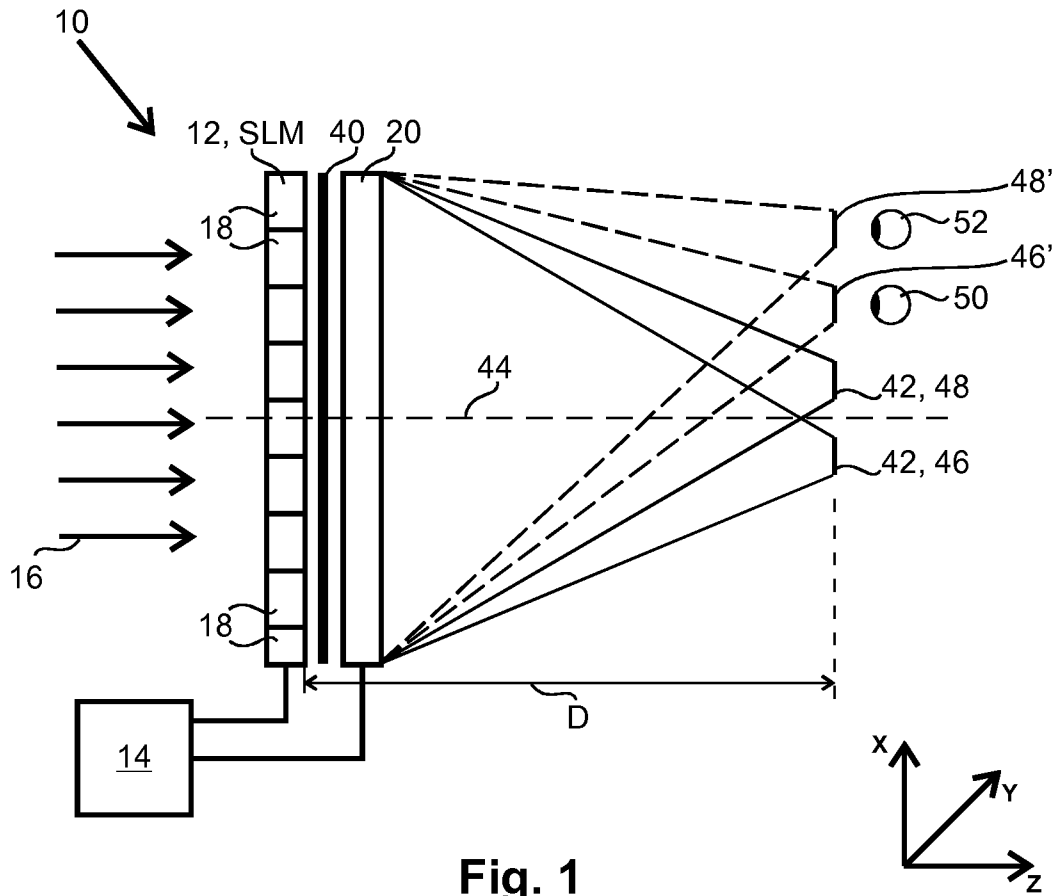
46. Verfahren zur Herstellung einer Lichtmodulationsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 36, welches die folgenden Verfahrensschritte aufweist:

- 10 a) Beschichten eines ersten Substrats (28) mit Elektroden (26),
- b) Aufbringen einer Materialschicht (62) auf einer Oberfläche des ersten Substrats (28),
- c) Aufbringen eines zweiten, mit Elektroden (26) beschichteten Substrats (30), wobei die zwei Substrate (28, 30) derart zueinander ausgerichtet werden, dass die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26) des ersten Substrats (28) im Wesentlichen parallel zu den linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26) des zweiten Substrats (30) ausgerichtet sind.
- 15

47. Verfahren nach Anspruch 46, welches die weiteren Verfahrensschritte aufweist:

- d) wobei nach Schritt b) eine Elektroden (58) aufweisende Zwischenelektrodenschicht (56) auf die Materialschicht (62) aufgebracht wird,
- 20 e) wobei auf der Zwischenelektrodenschicht (56) eine weitere Materialschicht (62) aufgebracht wird und
- f) wobei die Schritte d) und e) mindestens ein weiteres mal ausgeführt werden könnten.

25 48. Verfahren nach Anspruch 47, wobei das erste Substrat (28) und die mindestens eine Zwischenelektrodenschicht (56) derart zueinander ausgerichtet werden, dass die linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (26) des ersten Substrats (28) im Wesentlichen parallel zu den linear ausgebildeten und parallel zueinander angeordneten Elektroden (58) der Zwischenelektrodenschicht (56) ausgerichtet sind.



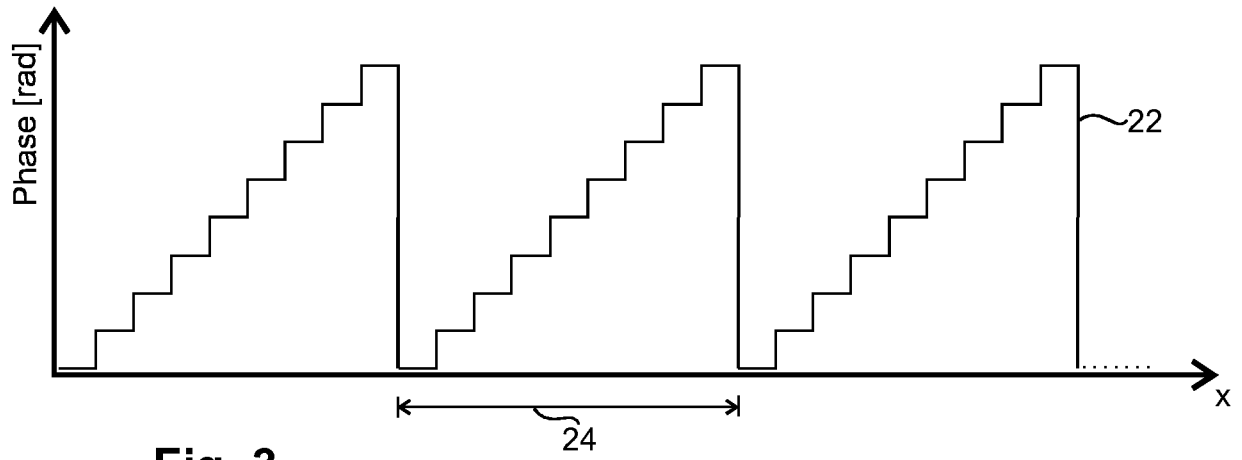


Fig. 3

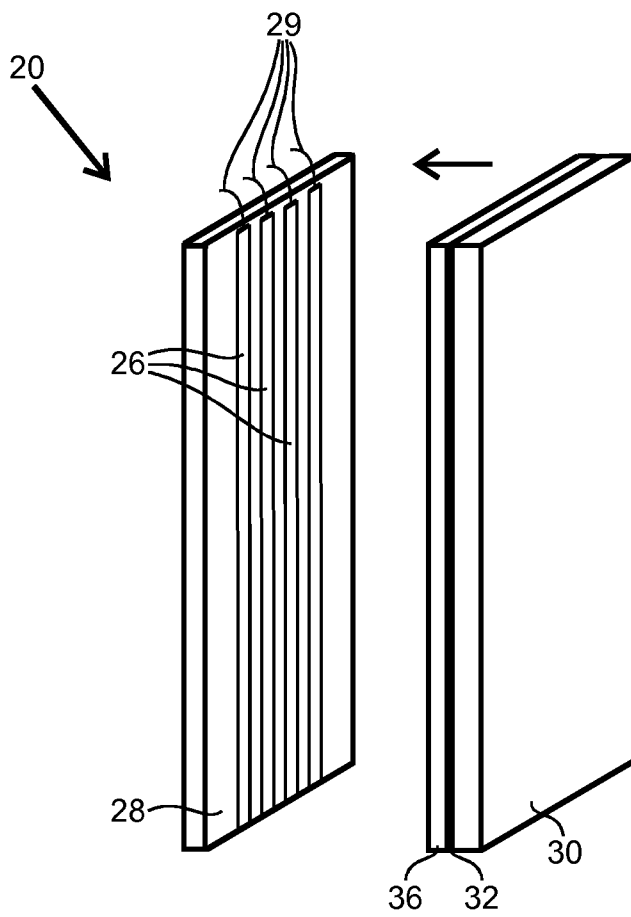
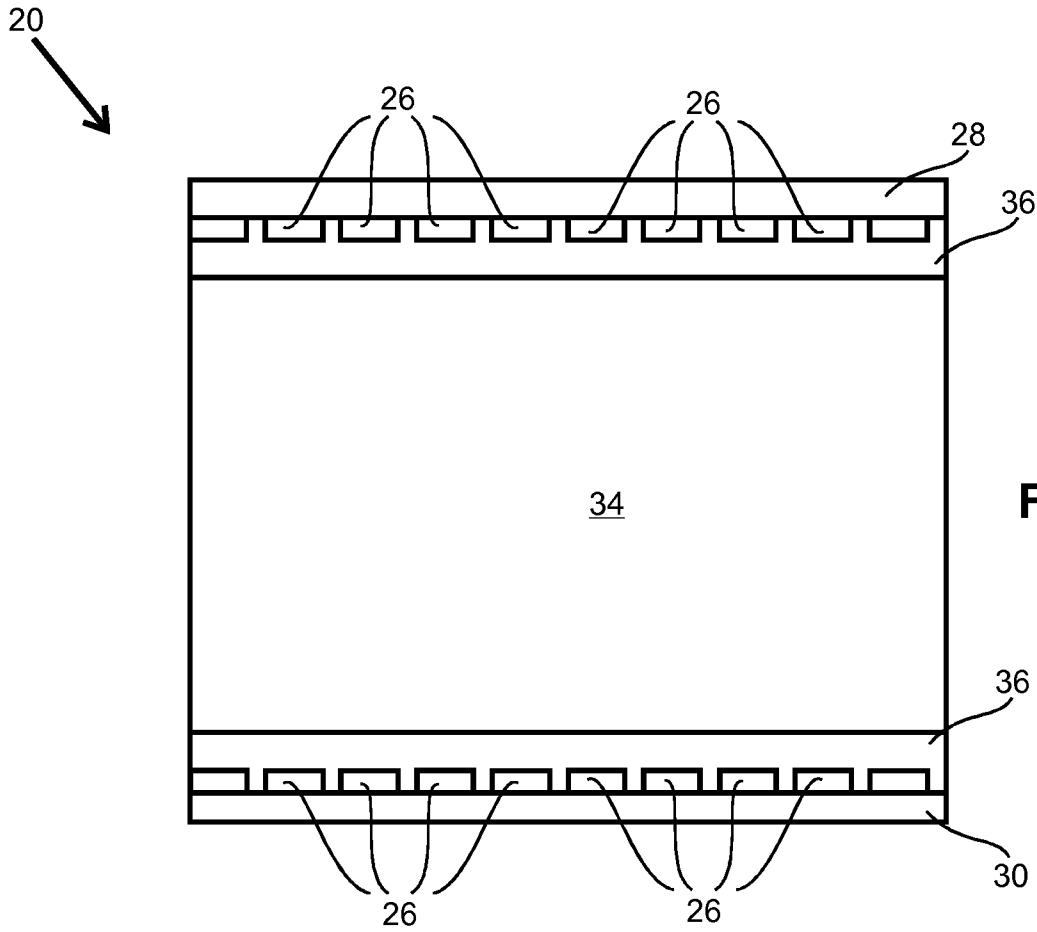
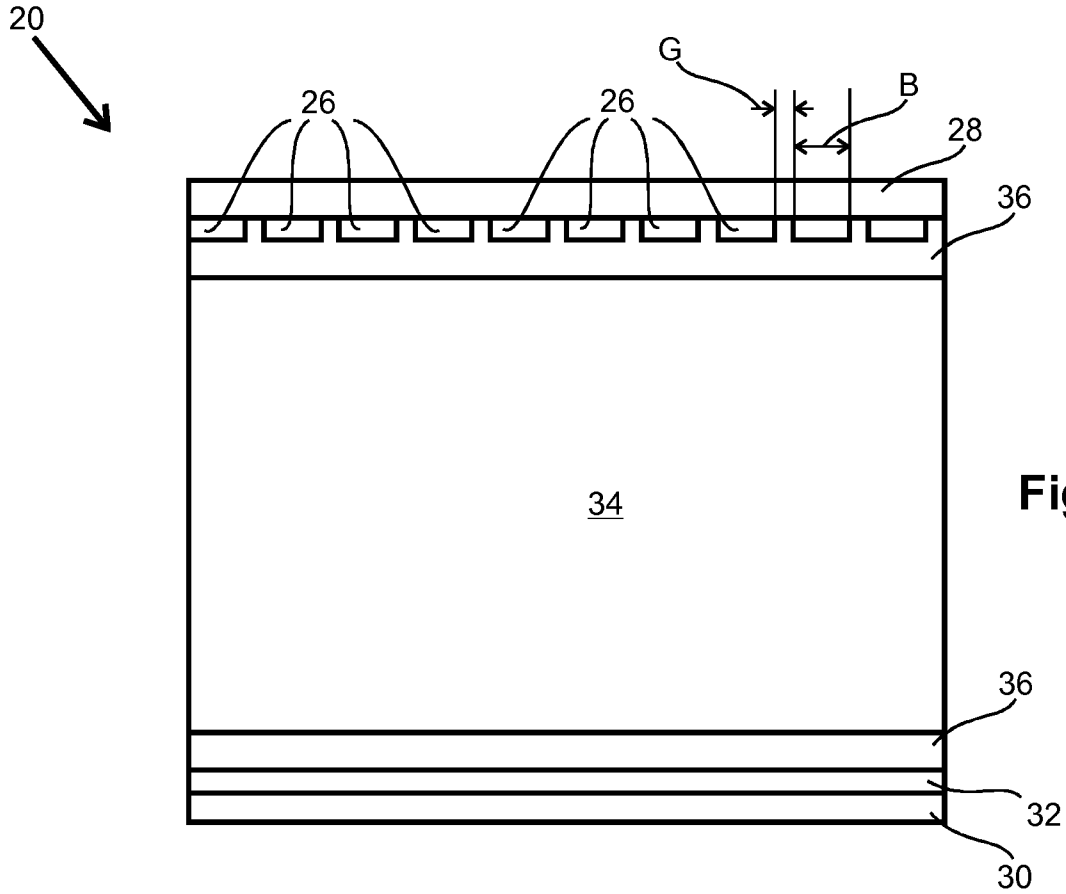


Fig. 4



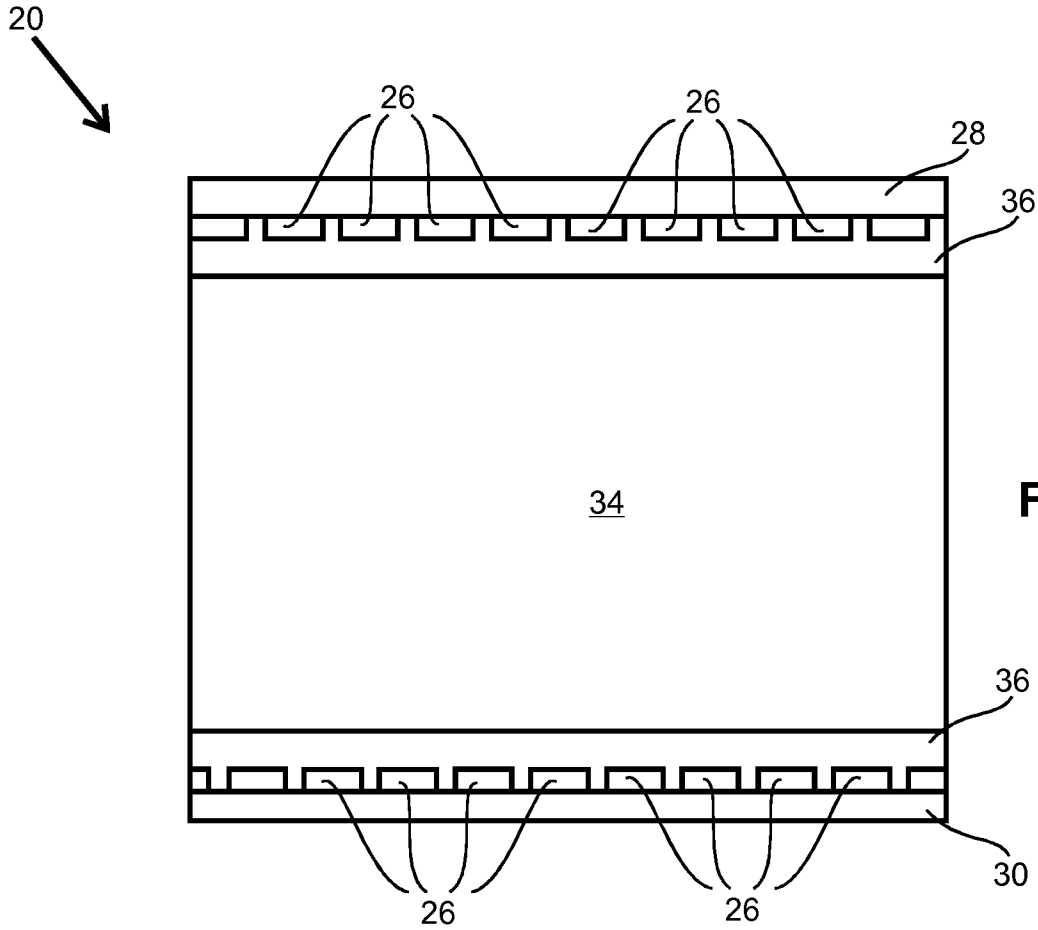


Fig. 7

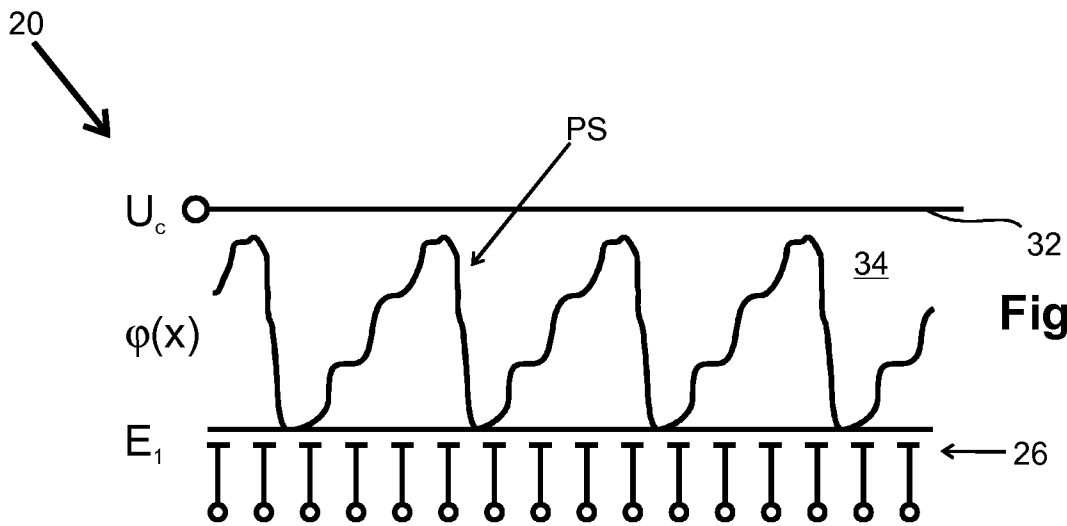
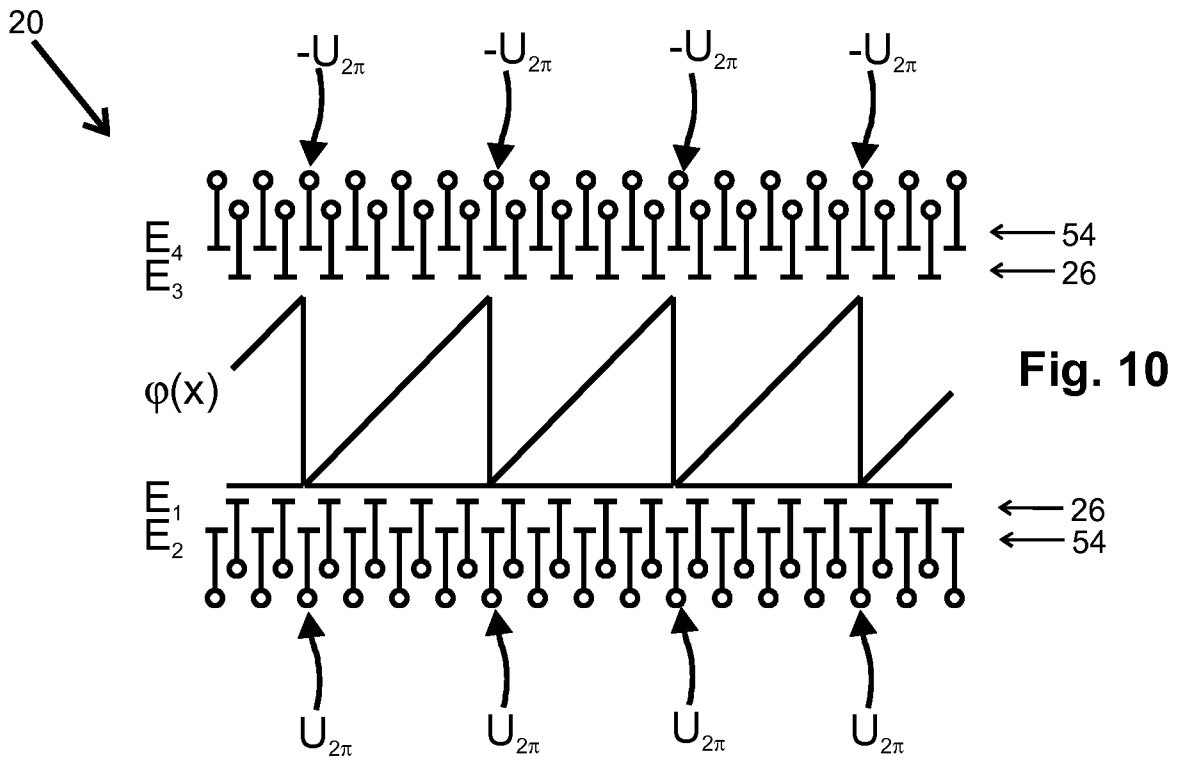
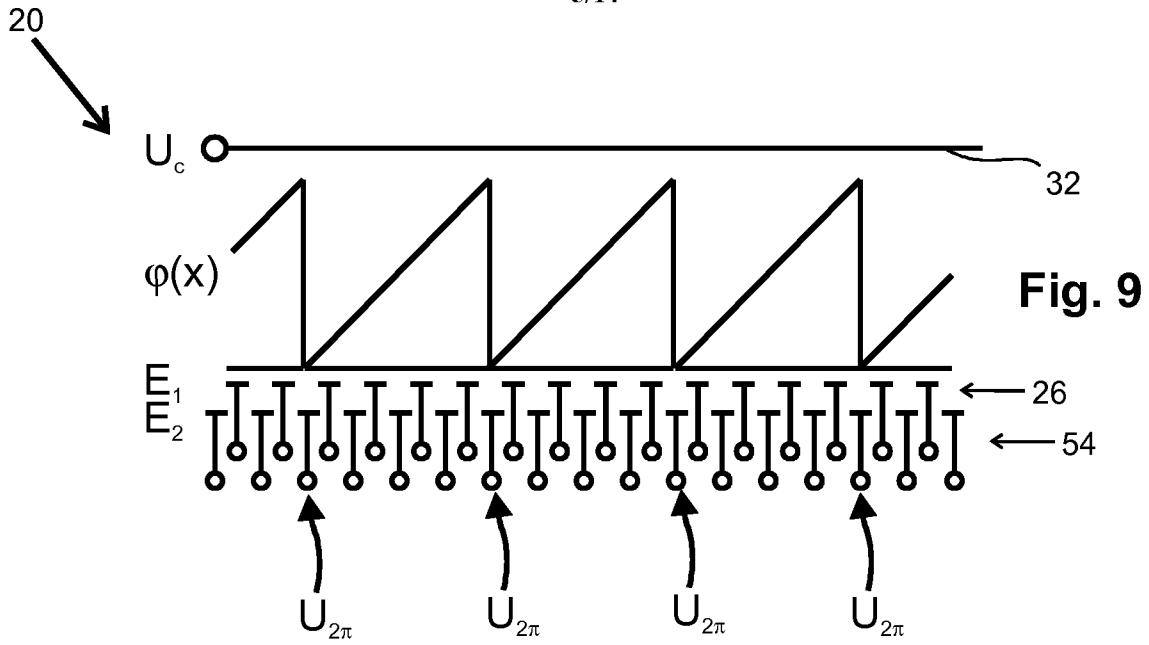


Fig. 8



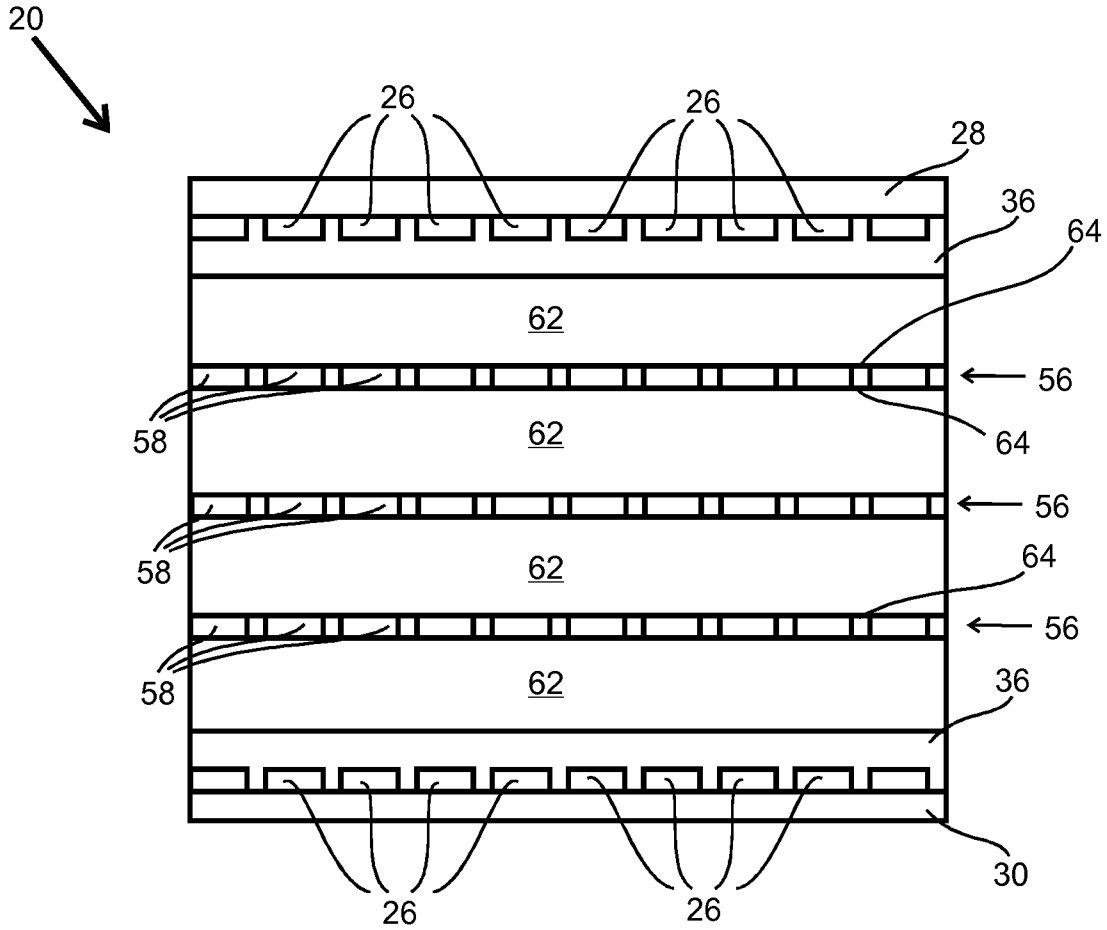


Fig. 11

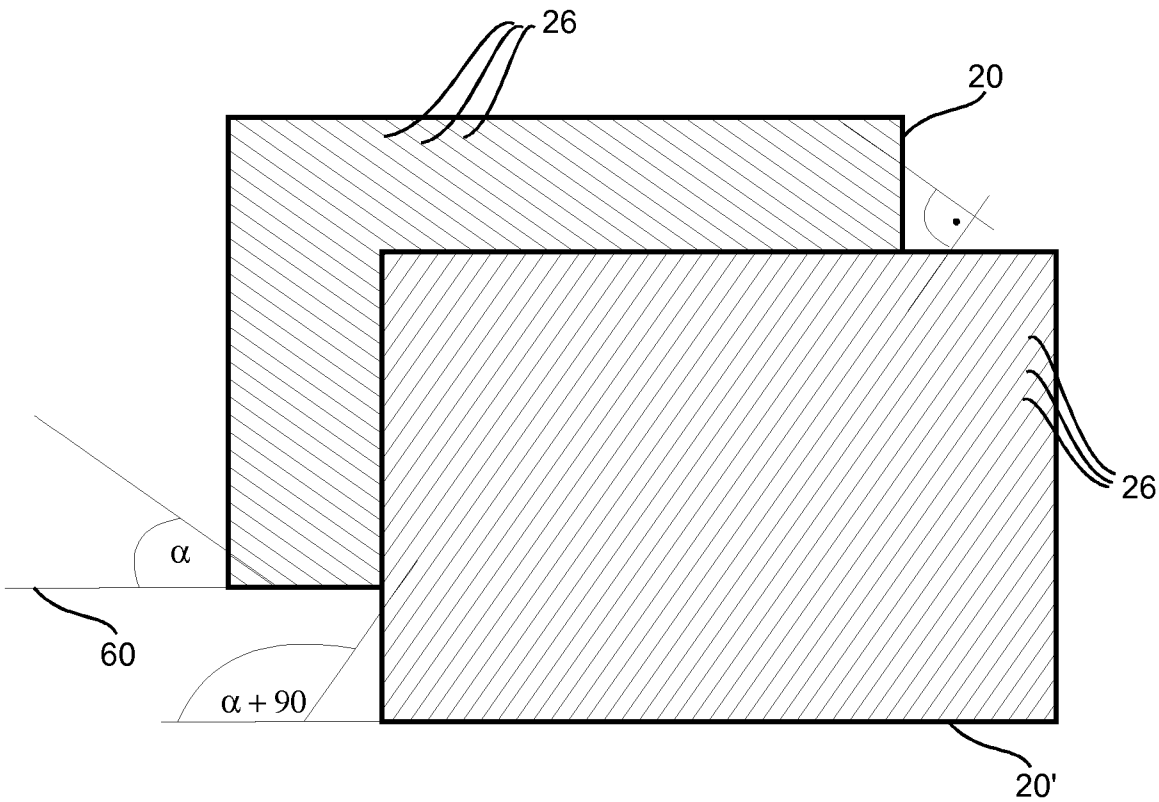


Fig. 12

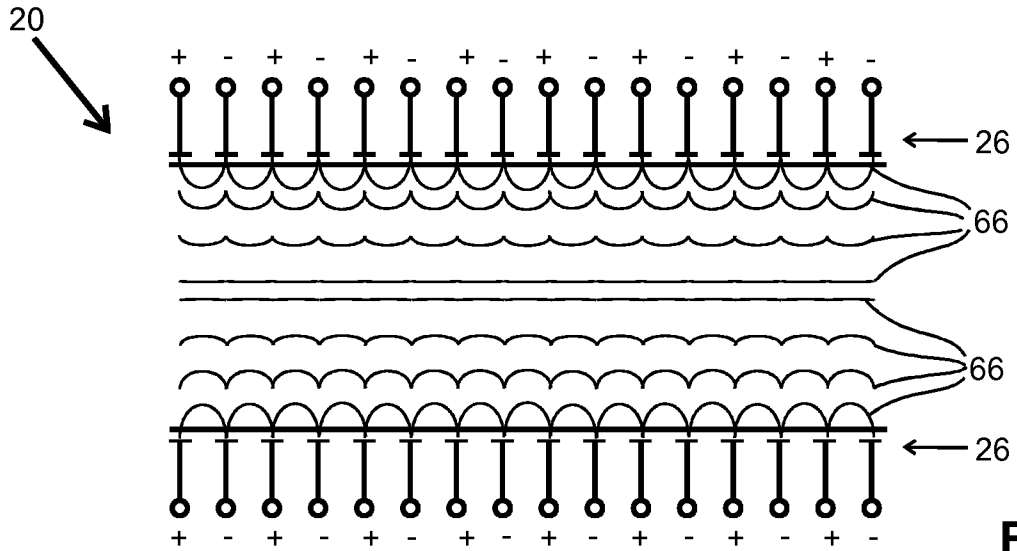


Fig. 13

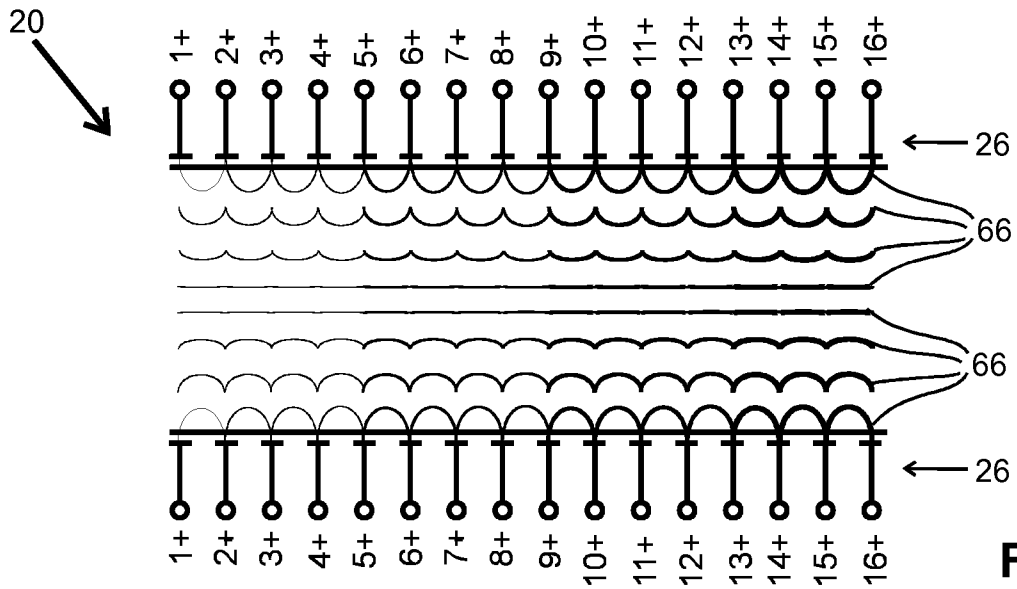


Fig. 14

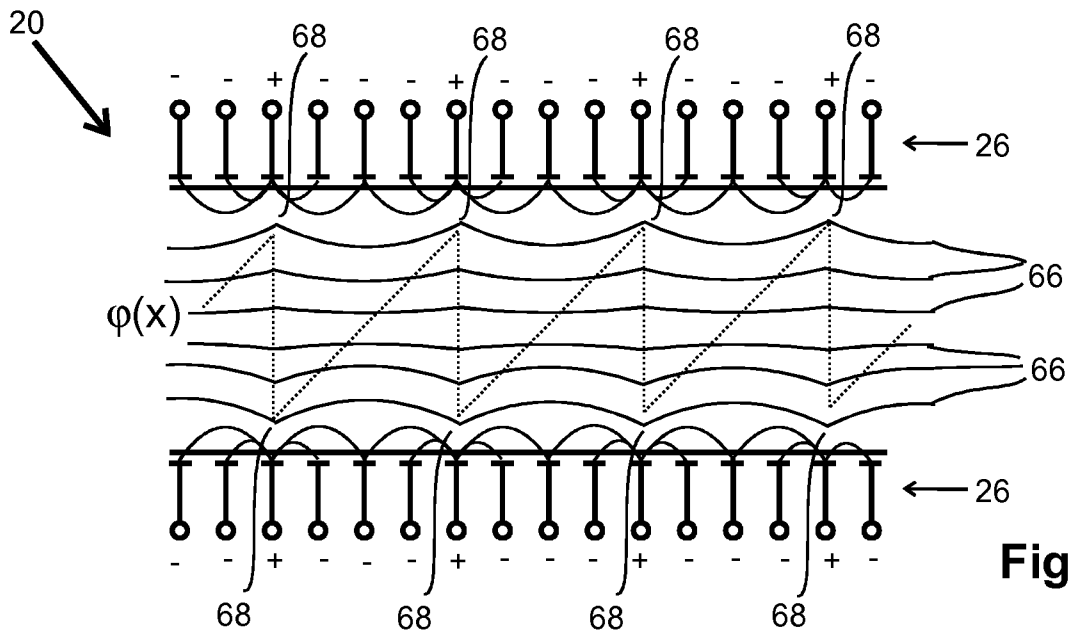


Fig. 15

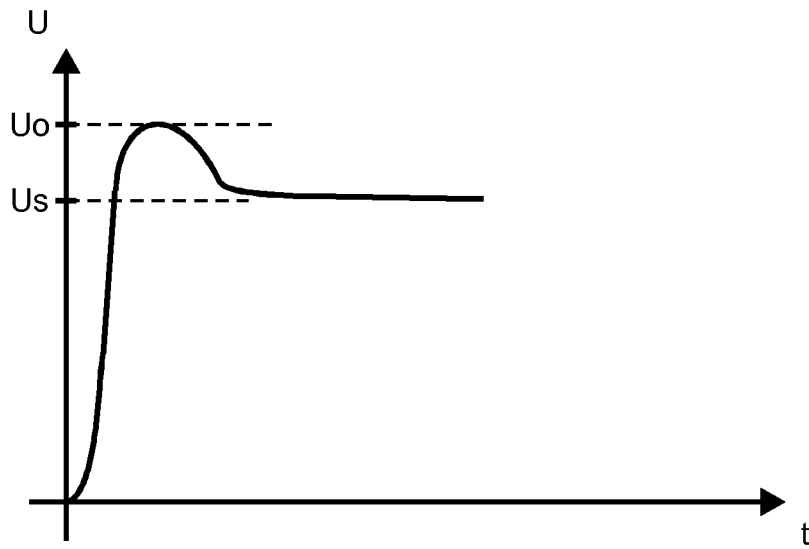


FIG. 16

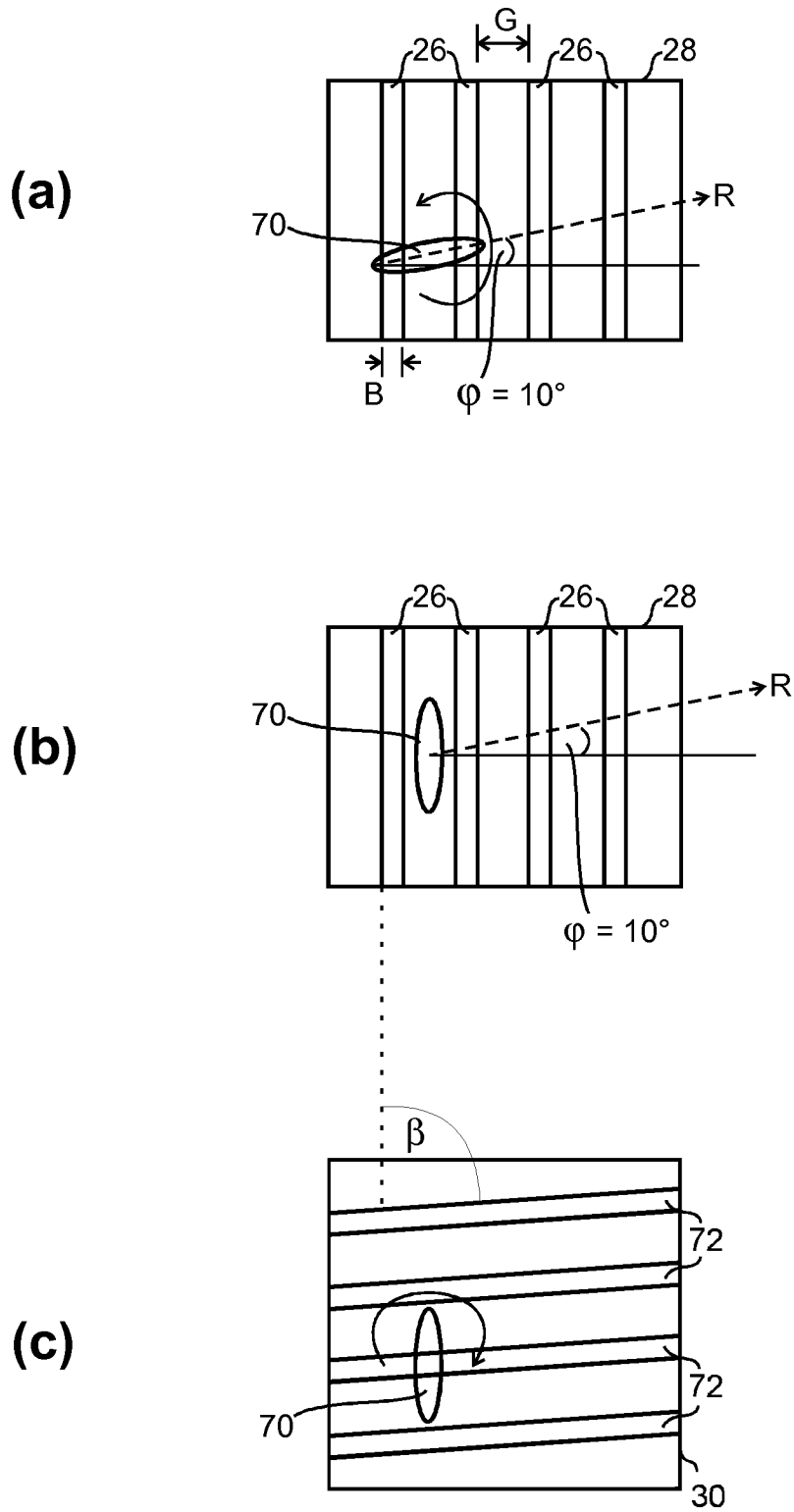


FIG. 17

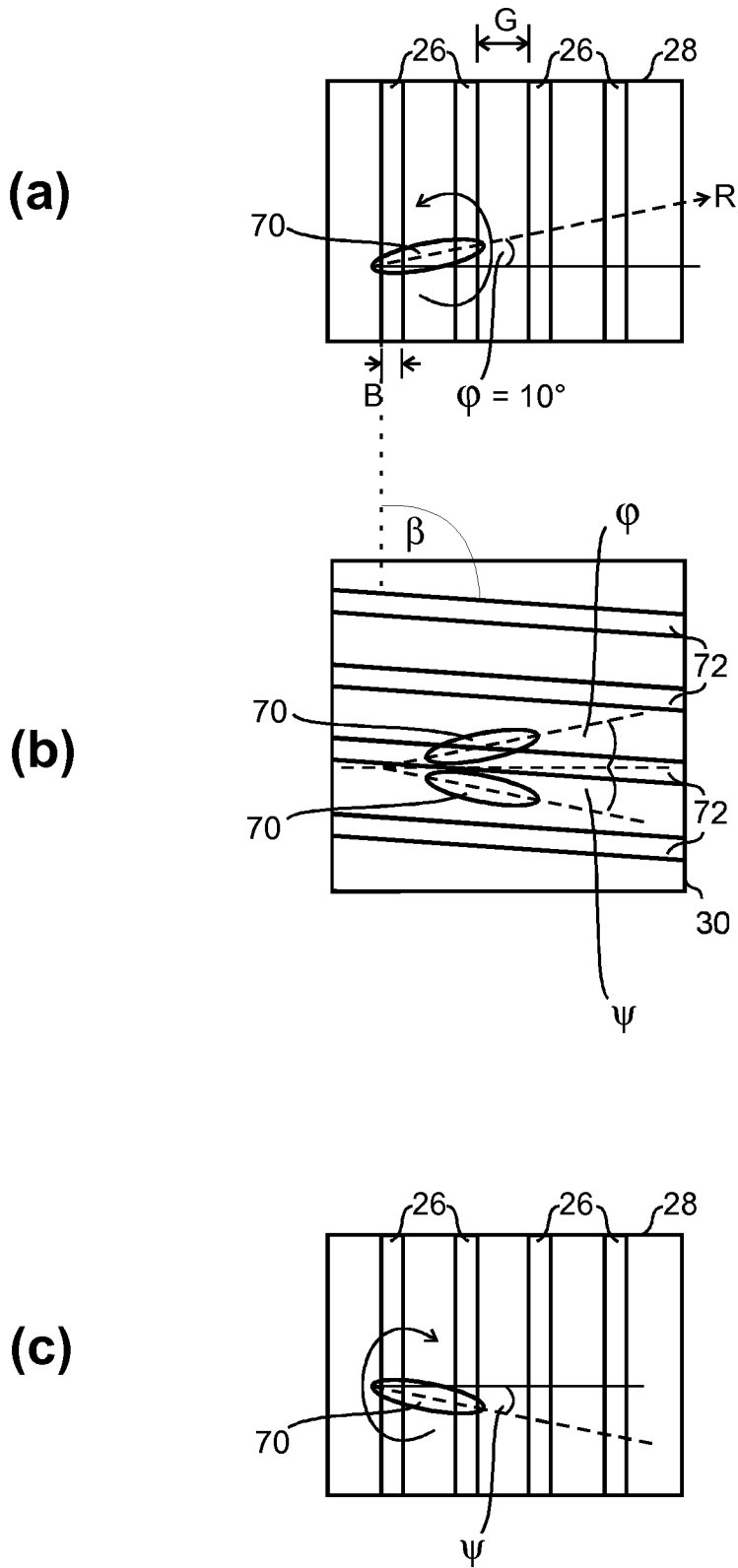


FIG. 18

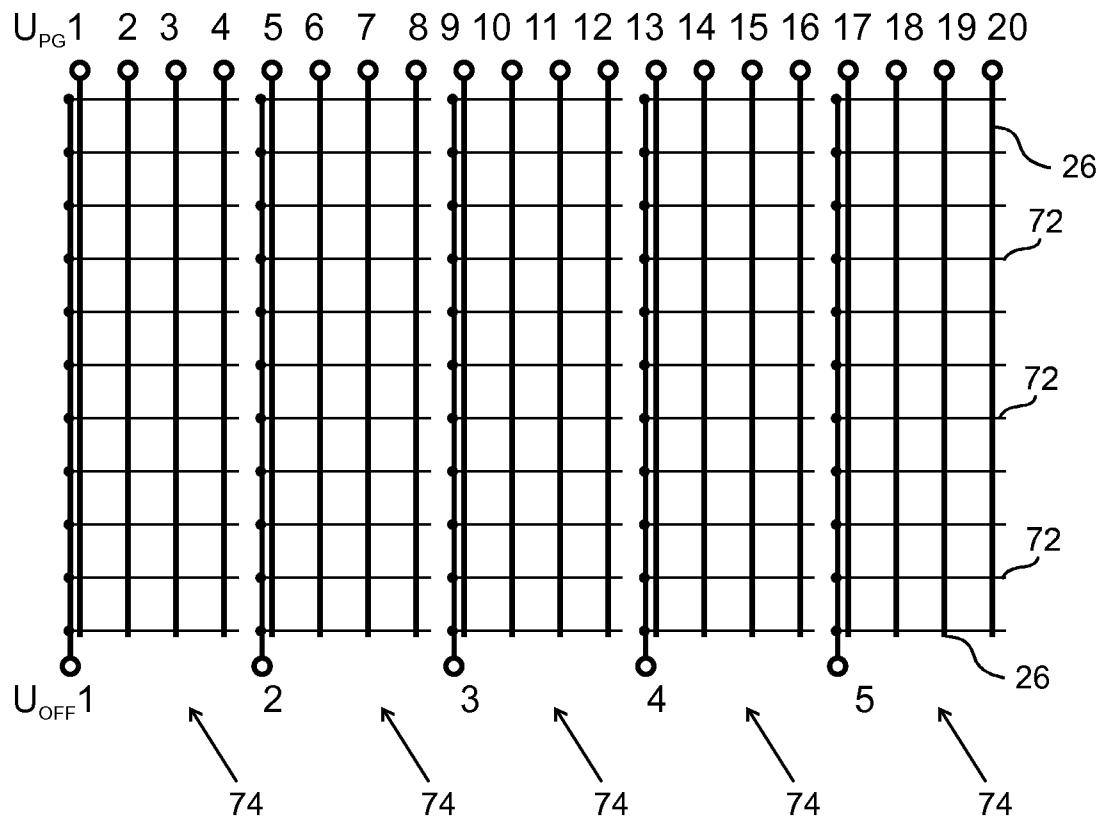


FIG. 19

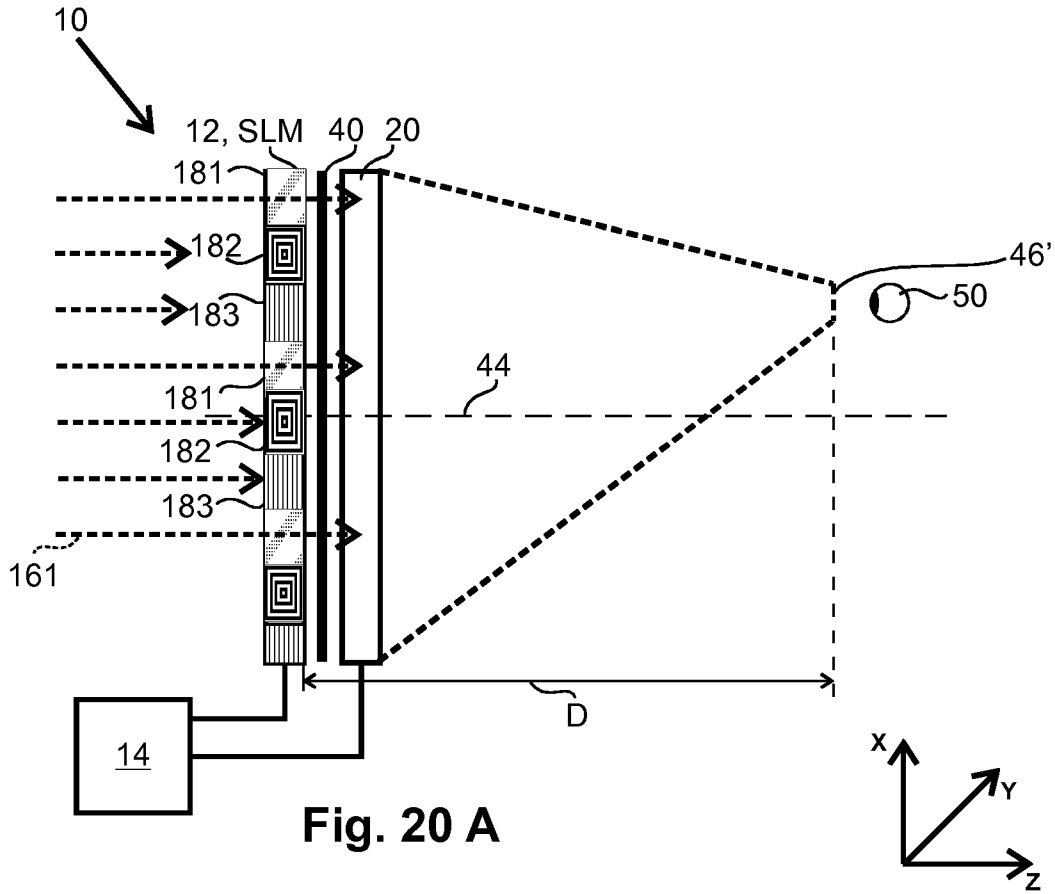


Fig. 20 A

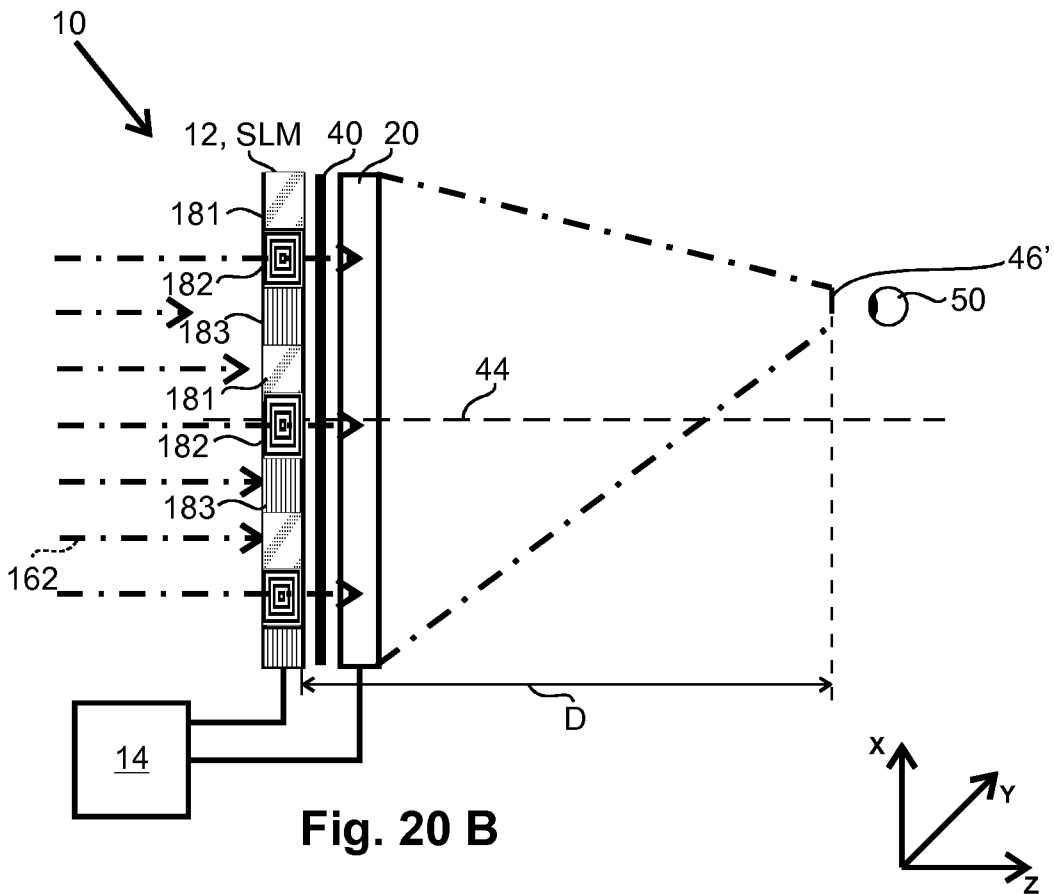
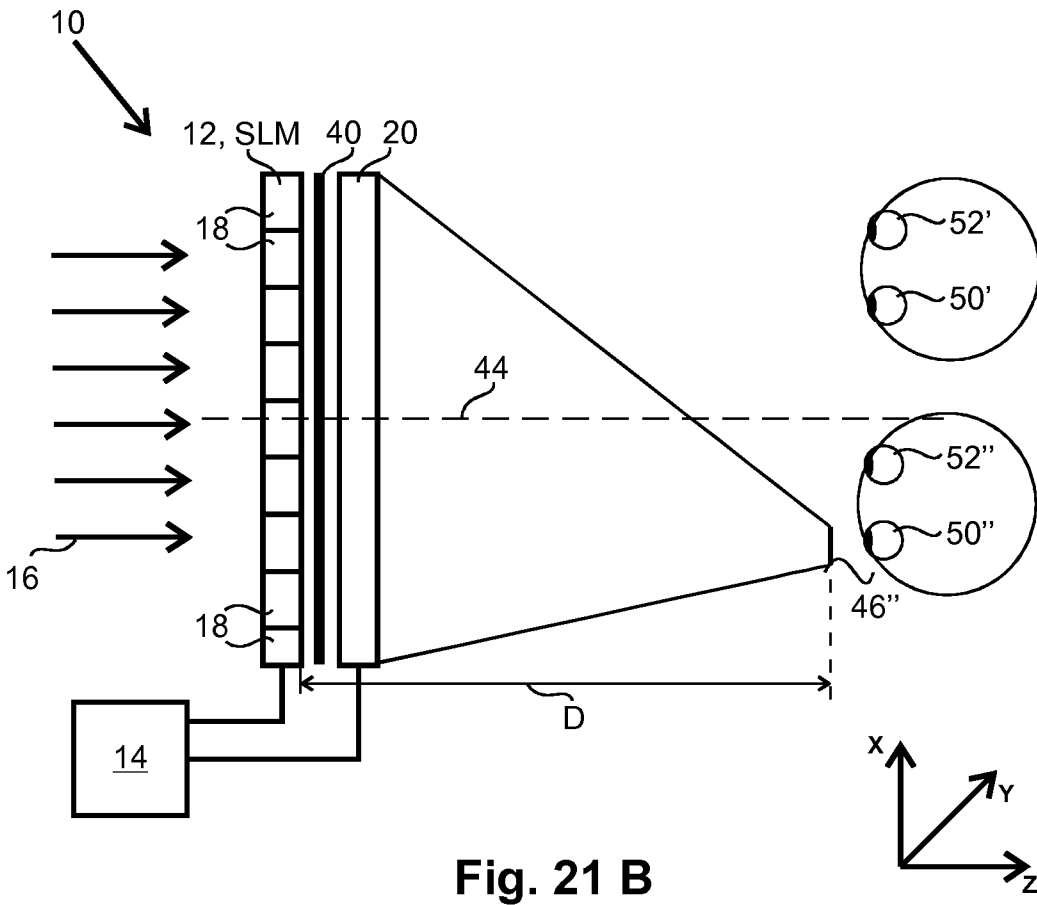
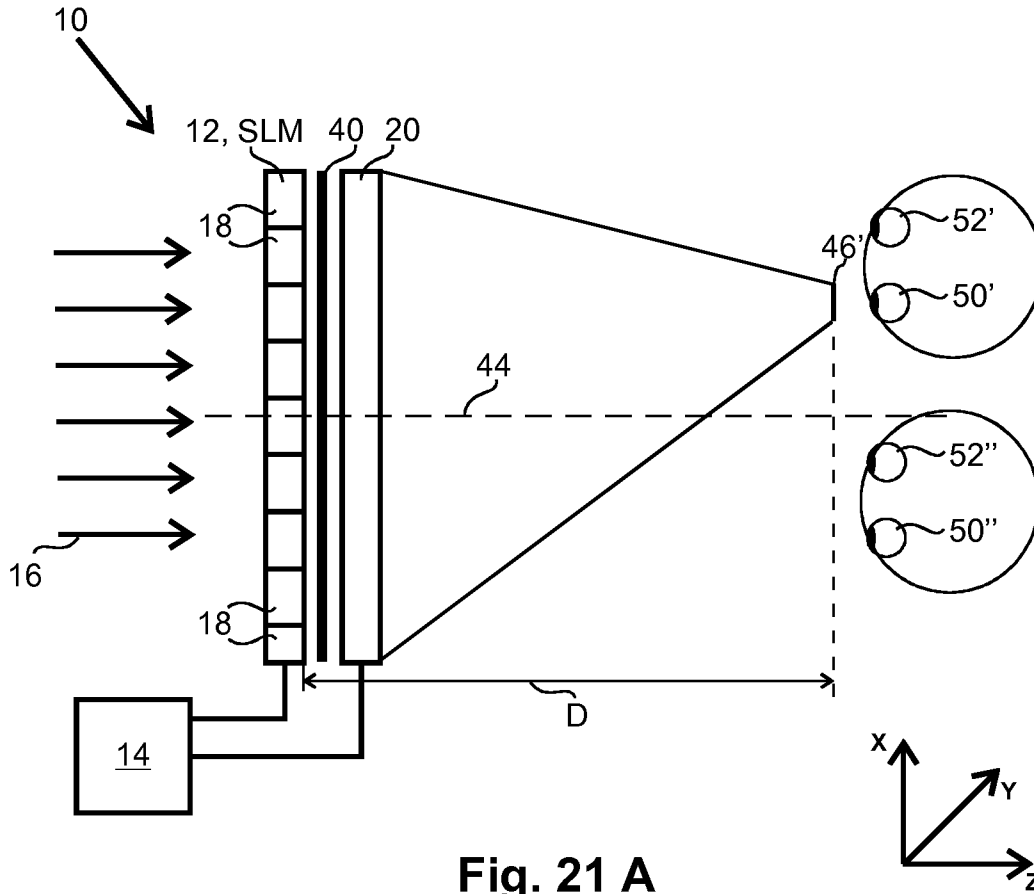


Fig. 20 B



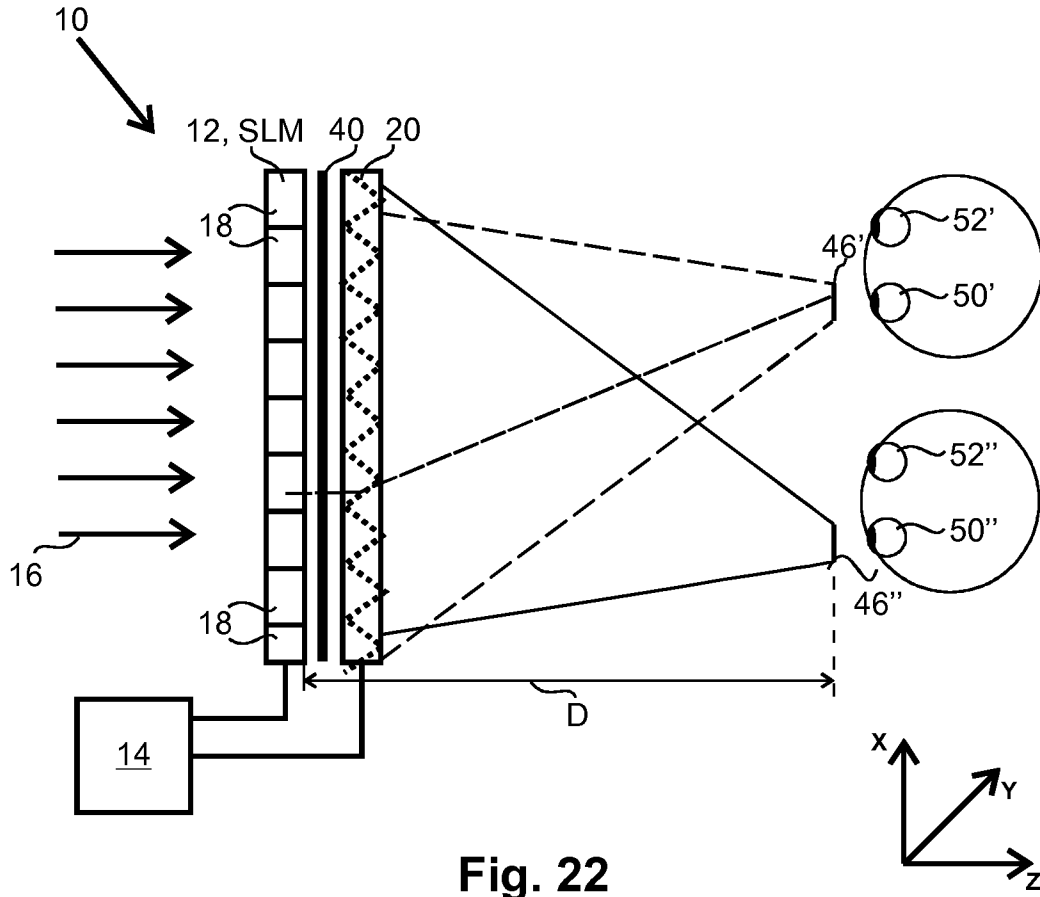


Fig. 22

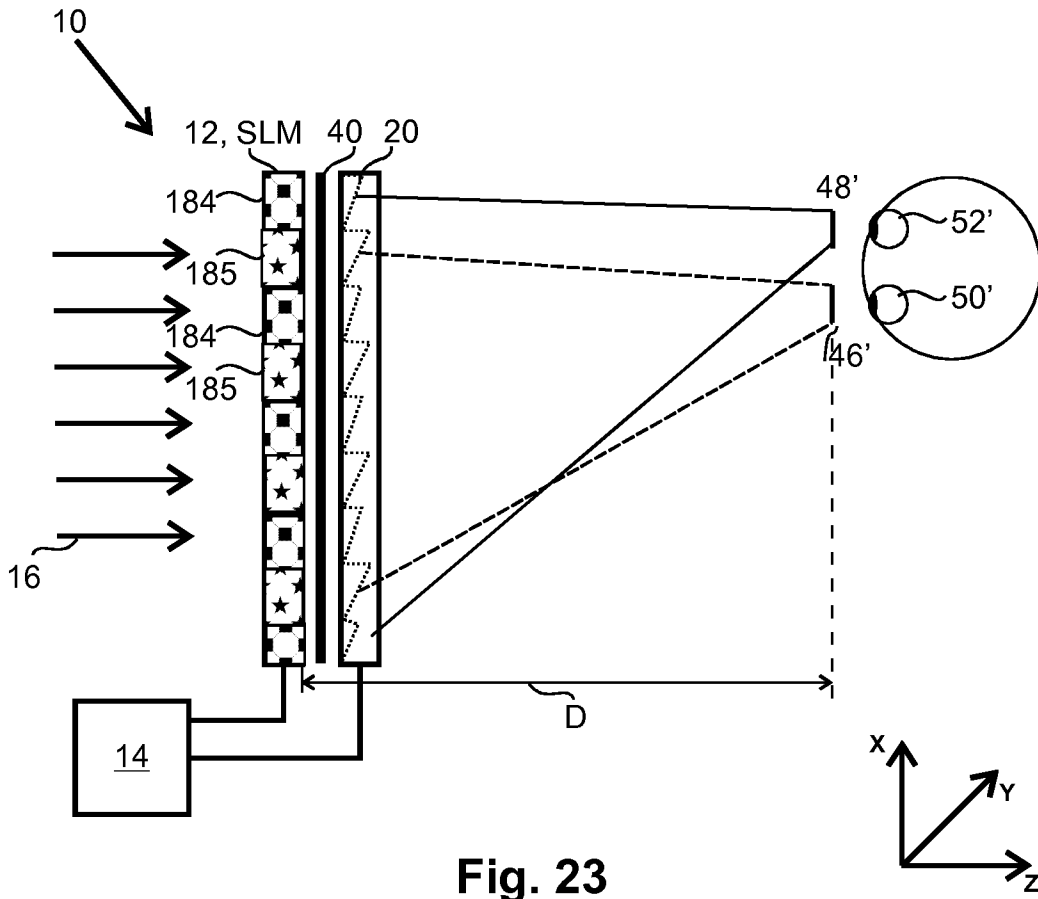


Fig. 23